

Eine ‚grüne‘ Zukunft für Kunststoffe?

Die Entwicklung von Märkten für Biokunststoffe

Inauguraldissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der
Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät
der
Universität zu Köln

2019

vorgelegt von

M.A. Alexandra Hees

aus

Köln

[überarbeitete Version]

Referent: Prof. Dr. Jens Beckert
Korreferent: Prof. PhD Sophie Mützel
Tag der Promotion:

Inhalt

1. Einleitung	1
2. Märkte, Marktinnovation und imaginierte Zukünfte	21
2.1. Die soziale Strukturierung von Märkten	22
2.1.1. Einbettung von Märkten in soziale Netzwerke.....	23
2.1.2. Einbettung von Märkten in Institutionen.....	25
2.1.3. Einbettung von Märkten in kognitiv-kulturelle Bedeutungsstrukturen	27
2.2. Veränderungsprozesse in der Ökonomie	30
2.3. Imaginierte Zukünfte und wirtschaftliche Dynamik	37
2.3.1. Der Markt als kreativer Prozess	37
2.3.2. Performativität (sozio-)technischer Visionen.....	39
2.3.3. Fiktionale Erwartungen in der Wirtschaftssoziologie	42
2.3.4. Krisen und Erwartungsdynamik	45
2.3.5. Neue Ideen und Realisierungsversuche	49
2.4. Zusammenfassung und Implikationen für die empirische Analyse.....	52
Teil I: (Biologische) Abbaubarkeit und Biobasiertheit als neue Innovationsziele (1970er-1980er Jahre)	56
3. Abbaubare Kunststoffe als Lösung für das Litterproblem	59
3.1. Von utopischen zu dystopischen Stoffen	61
3.1.1. Kunststoffutopien im 20. Jahrhundert	62
3.1.2. Kunststoffe als ökologischer Albtraum	71
3.2. Abbaubarkeit als technikoptimistische Vision	83
3.2.1. Polymerforscher als ‚moderne Ökologen‘	90
3.2.2. Abbaubarkeit als ökologische Requalifizierung von Kunststoffen	92
3.3. Umstrittene Erwartungen an abbaubare Kunststoffe.....	95

3.4. Zwischenfazit.....	100
4. Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen – Die Reaktivierung einer alten Vision.....	103
4.1. Neue Unsicherheiten, alte Visionen: Ökonomische Erwartungen in der Chemie- und Kunststoffindustrie	104
4.2. Kunststoffe als Energieverschwender und ökotopische Kunststoffvisionen.....	120
4.3. Die Vision einer europäischen ‚Biogesellschaft‘	129
4.4. Zwischenfazit.....	140
5. Polyhydroxybuttersäure und Polylactide: von wertlosen Substanzen zu Innovationsobjekten	143
5.1. Polyhydroxybuttersäure: Bakterien als Kunststoffproduzenten	144
5.2. Polylactide: Die Wiederentdeckung eines ‚schlafenden Riesens‘	157
5.3. Zwischenfazit.....	166
Teil II: Die Marktentwicklung ‚grüner‘ Kunststoffe (Mitte der 1980er Jahre bis heute)...	171
6. Ein erster Markt für abbaubare Kunststoffe	175
6.1. Abbaubare Kunststoffe als Lösung für die Deponiekrise.....	175
6.2. Abbaubarkeit als Placebo, Fantasie und Greenwashing.....	182
6.3. Eine ‚neue Generation‘ biologisch abbaubarer Kunststoffe.....	190
6.4. Zwischenfazit.....	197
7. Von großen Hoffnungen zu ‚gelähmten Märkten‘ in Deutschland	200
7.1. Eine neue Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen.....	203
7.2. Abbaubarkeit vs. Recycling: Die Konkurrenz von Regulationsvisionen	208
7.3. Die Biotonne bleibt verschlossen: Gescheiterte Mobilisierung notwendiger Kooperationspartner	222
7.4. Kein gesamtökologischer Vorteil: Delegitimation durch den Umweltschutz	230
7.5. Zwischenfazit.....	240
8. Von der biologischen Abbaubarkeit zur Biobasiertheit	243

8.1. Neue Anwendungen: Biologisch abbaubare Kunststoffe in langlebigen Produkten	244
8.2. Neue Kategorie: Von biologisch abbaubaren Kunststoffen zu Biokunststoffen	245
8.3. Neues Innovationsziel: Biobasierte Beständigkeit	248
8.5. Zwischenfazit.....	257
9. Schluss	261
Anhang: Magazine.....	277
Bibliographie	279
Abbildungen	305

1. Einleitung

Kunststoffe gehören zu den ambivalenten Technologien der modernen Industriegesellschaft. Auf der einen Seite sind sie günstige, leicht verfügbare, formbare und populäre Werkstoffe, die zur Herstellung unterschiedlichster Produkte in allen Bereichen der industriellen Produktion zur Anwendung kommen und aus unserem Alltag kaum mehr weg zu denken sind. Seit den 1950er Jahren hat die Produktion von Kunststoffen kontinuierlich zugenommen. Heute hat sie bereits ein Produktionsvolumen von ca. 350 Millionen Tonnen erreicht (Statista 2019b). Vor allem im Verpackungsbereich nehmen Kunststoffe eine herausragende Stellung ein. Dabei stand Plastik als Innovation der chemischen Industrie lange wie kaum ein anderes Material für Modernität, naturwissenschaftlichen Fortschritt und wirtschaftlichen Wohlstand. Auf der anderen Seite gelten Kunststoffe heute als eine der größten Bedrohungen für die natürliche Umwelt. Umweltschützer und ökologisch sensibilisierte Konsumenten verdammen Kunststoffe, denn sie töten Meerestiere, verschmutzen die Umwelt, bereiten Entsorgungsprobleme, verschwenden begrenzte fossile Ressourcen und tragen zur menschenbedrohenden Klimakrise bei. Kurz, Plastik gilt als Stoff, aus dem ökologische Albträume gemacht sind.

Die Kritik am ökologischen Zerstörungspotential der Kunststoffe bleibt nicht ohne Auswirkung auf die Sphäre der Ökonomie. Kunststoffmärkte sind heute zunehmend Ziel staatlicher Regulations- und Verbotsverfahren (Europäische Kommission 2019), Supermärkte verbannen Kunststoffprodukte aus dem Sortiment (Rewe 2019); seit einigen Jahren nimmt in Großstädten die Zahl sogenannter Unverpackt-Läden zu, die sich auf den Verkauf unverpackter Produkte spezialisiert haben, und die *Zero-Waste*-Bewegung gibt dem umweltbewussten Konsumenten die Anleitung für „Plastikfasten“ und ein „Besser Leben ohne Plastik“ (Bunk und Schubert 2016).

Während diese Entwicklungen auf einen Konsumboykott hinauslaufen oder auf eine politische Einschränkung von Kunststoffmärkten abzielen, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der Entwicklung von technischen Innovationen, die als Beitrag zu einer umweltfreundlichen und nachhaltigen Gestaltung der modernen Kunststoffökonomie vermarktet werden. Durch die Substitution von konventionellen Kunststoffen durch sogenannte *Biokunststoffe* sollen negative Umweltauswirkungen reduziert werden, während an der modernen Kunststofftechnologie an sich festgehalten werden kann. Der europäische Verband der Biokunststoffbranche, *European Bioplastics*, schreibt dementsprechend, dass die Biokunststoffindustrie das Potential besäße, „ökonomisches Wachstum von Ressourcenerschöpfung und negativen Umweltauswirkungen

zu entkoppeln, und durch den Austausch von fossilen durch biobasierte Rohstoffe dabei zu helfen, bessere ökonomische und ökologische Ergebnisse zu erzielen, und gleichzeitig die Vorteile der Kunststoffe weiter zu nutzen‘ (European Bioplastics 2019b: 10).¹ Eingebettet ist die Innovation der Biokunststoffe in das politische Transformationsprojekt der ‚Bioökonomie‘, das von einigen Nationalstaaten, der OECD und der Europäischen Union gegenwärtig mit dem Ziel vorangetrieben wird, die erdölbasierte Wirtschaft von heute in eine postfossile Wirtschaft von morgen zu überführen (Europäische Kommission 2012). Die Umstellung auf erneuerbare, biobasierte Rohstoffe in der Bioökonomie soll zu einer nachhaltigen Produktionsweise beitragen und gleichzeitig grünes Wirtschaftswachstum ermöglichen. So fördert die Europäische Union die Entwicklung von Biokunststoffen im Rahmen ihrer Forschungs- und Technologiepolitik als ‚entscheidende Komponente im Bestreben, eine vollständig nachhaltige und zirkuläre Bioökonomie zu schaffen‘ (Europäische Kommission 2017a). Bei Biokunststoffen handelt es sich also gewissermaßen um eine Neuerfindung der Kunststoffe mit dem Versprechen einer ökologischen Verbesserung.

Aktuell wird der Anteil von Biokunststoffen am gesamten globalen Kunststoffmarkt zwar nur auf ca. 1 Prozent eingeschätzt (European Bioplastics 2019c). Aufgrund der steigenden Nachfrage von Kunststoffanwendern nach umweltfreundlicheren Verpackungsmaterialien wachsen Märkte für Biokunststoffe aber kontinuierlich. Der Branchenverband prognostiziert einen Anstieg der globalen Produktionskapazitäten von 2,11 Millionen Tonnen im Jahr 2018 auf 2,62 Millionen Tonnen im Jahr 2023 (ebd.). Produziert werden Biokunststoffe und deren chemische Komponenten von Unternehmen im Bereich der Chemie-, Agrar- und Biotechnologiebranche in Europa, Nord- und Südamerika sowie Asien (ebd.). Zu den Hauptnachfragern von Biokunststoffen zählen Hersteller von Verpackungen und Einwegprodukten sowie Konsumgüterhersteller, die ihre Produkte in Biokunststoffen verpacken wollen (ebd.). Märkte für Biokunststoffe konnten sich zum Beispiel in den Anwendungsbereichen von Plastiktüten, kompostierbaren Abfallbeuteln, Einweggeschirr und Plastikflaschen etablieren, wobei Westeuropa mit zu den größten Absatzmärkten für Biokunststoffe zählt.

Die vorliegende Arbeit untersucht, wie sich Märkte für Biokunststoffe historisch entwickelt haben. Wie also entstand die Vorstellung einer alternativen Kunststoffökonomie? Wo liegen die historischen Ursprünge heutiger Biokunststoffmärkte? Und wie haben Unternehmen

¹ Ich habe in dieser Studie an einigen Stellen direkte Zitate aus englischsprachigen Publikationen ins Deutsche übersetzt. Übersetzte Zitate werden mit einfachen Anführungszeichen angezeigt.

versucht, neue Marktbeziehungen für Biokunststoffe aufzubauen? Will man diese Fragen beantworten, stößt man schon zu Beginn des Forschungsvorhabens auf eine grundlegende Herausforderung: Der Begriff Biokunststoff bezeichnet nicht etwa eine bestimmte molekulare Verbindung, deren Entwicklung sich von der Entstehung *einer* Idee, über deren Realisierung bis zur Vermarktung der Innovation verfolgen ließe. Vielmehr handelt es sich bei Biokunststoffen um eine neue Produktkategorie im Kunststoffmarkt, die bislang *nicht* eindeutig definiert ist und die im Hinblick auf *unterschiedliche* Produkteigenschaften von konventionellen Kunststoffen abgegrenzt wird. Bevor ich die sozialwissenschaftliche Forschung zur Entwicklung von Biokunststoffen rekapituliere, will ich dem Leser ein Grundverständnis für die Innovation der Biokunststoffe vermitteln. Dazu werde ich erläutern, was unter Biokunststoffen zu verstehen ist und dabei sowohl auf die Einheit der Produktkategorie als auch auf die Heterogenität der unter dem Label Biokunststoff zusammengefassten Polymere² eingehen.

Die Einheit der Produktkategorie der Biokunststoffe stellt sich wenig kompliziert dar. Sie besteht, wie oben beschrieben, in einer ökologischen Qualifizierungsstrategie. Während Kunststoffe traditionellerweise aufgrund ihrer *Nutzungsqualität*, also beispielsweise ihrer Haltbarkeit, Formbarkeit oder Leichtigkeit während ihres unmittelbaren Gebrauchs von anderen Materialien unterschieden werden, kommt bei Biokunststoffen eine ökologische Qualifizierung hinzu. Zusätzlich zu ihrem Gebrauchswert als Kunststoffmaterialien werden sie also im Hinblick auf ihre Umweltauswirkungen von konventionellen Kunststoffen abgegrenzt. Was aber genau soll Biokunststoffe umweltfreundlicher machen als konventionelle Kunststoffe?

Hier wird es komplizierter, denn es handelt sich bei Biokunststoffen um eine mehrdeutige Produktkategorie, die unterschiedliche ökologische Qualitäten unter einem Label zusammenfasst. Laut aktueller Definition des europäischen Branchenverbands kann ein Plastikmaterial als Biokunststoff bezeichnet werden, wenn es ‚entweder biobasiert oder biologisch abbaubar ist, oder beide Eigenschaften aufweist‘ (European Bioplastics 2019f). Mit dem Begriff Biokunststoff werden also einerseits Kunststoffe bezeichnet, die aus *biobasierten Rohstoffen* (sogenannter Biomasse) hergestellt werden. Dabei handelt es sich zumeist um pflanzliche Rohstoffe wie Maisstärke oder Zuckerrohr. Die Eigenschaft der Biobasiertheit

² Bei Polymeren handelt es sich um große Moleküle, die durch Verkettung einer Vielzahl gleicher oder unterschiedlicher Molekülbausteinen (den Monomeren) gebildet werden. Zwar muss, chemisch betrachtet, zwischen Kunststoff und Polymer unterschieden werden, da Kunststoffe weitere Zusatzstoffe, z. B. Weichmacher, Lösemittel, Farbmittel oder Stabilisatoren enthalten. Ich verwende beide Begriffe in dieser Arbeit allerdings synonym, da Polymere den Hauptbestandteil von Kunststoffen ausmachen.

unterscheidet Biokunststoffe von konventionellen Kunststoffen also auf der Grundlage der Kohlenstoffquelle, d. h. ihrer elementaren chemischen Bausteine. Konventionelle Kunststoffe werden im Gegensatz zu Biokunststoffen aus petrochemischen Rohstoffen, d. h. aus Erdöl, hergestellt. Allerdings werden mit dem Begriff Biokunststoff nicht nur Kunststoffe bezeichnet, die zu *ein hundred Prozent* biobasiert sind. Einige Biokunststoffe bestehen aus einer Mischung pflanzlicher und petrochemischer Bestandteile. Es existiert gegenwärtig kein Mindestanteil an Biomasse, der zum Führen des Titels Biokunststoff berechtigt.

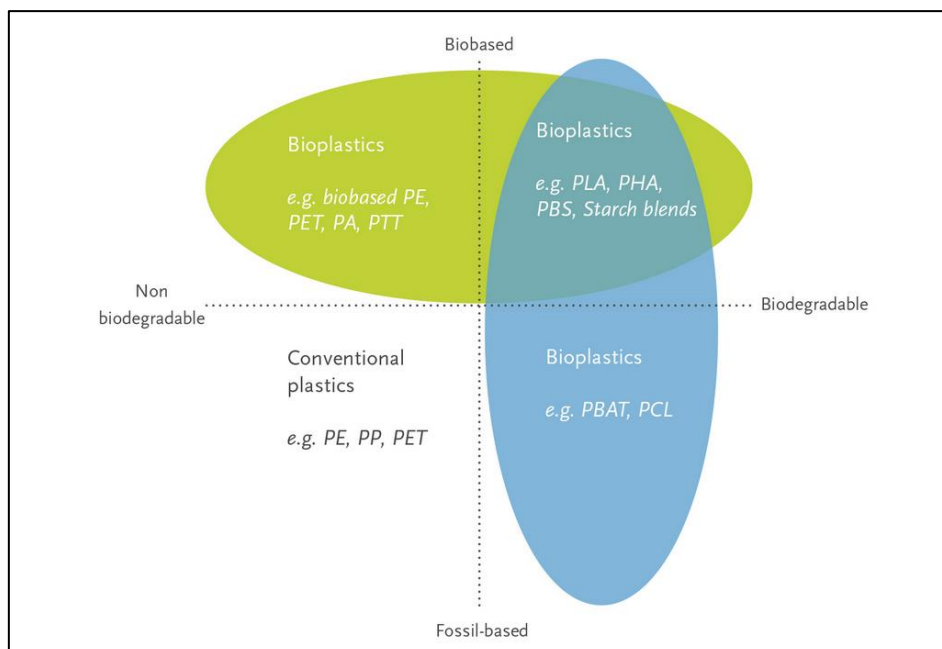
Die Verwendung von pflanzlichen Rohstoffen zur Herstellung von Kunststoffen bedeutet allerdings *nicht*, dass ein Biokunststoff automatisch auch biologisch abbaubar ist, und damit die zweite definitorische Eigenschaft der Kategorie erfüllt. Unter biologischer Abbaubarkeit definiert der europäische Branchenverband den chemischen Prozess, bei dem Mikroorganismen (d. h. Bakterien und Pilze) Materialien in natürliche Substanzen wie Wasser, Kohlenstoffdioxid und Biomasse umwandeln (ebd.). Die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit resultiert dabei *nicht* aus der Rohstoffquelle eines Kunststoffs, sondern aus seiner spezifischen chemischen Struktur, die ihn anfällig für die Verstoffwechslung durch Mikroorganismen macht. Das heißt sowohl Kunststoffe aus Erdöl als auch Kunststoffe aus Biomasse können so synthetisiert werden, dass sie biologisch abbaubar oder eben biologisch stabil sind. Die Rohstoffquelle und die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit hängen *nicht* intrinsisch zusammen.

Wenn Kunststoffe biologisch abbaubar sind, besteht die Möglichkeit, dass die aus ihnen gefertigten Produkte durch biologische Abfallentsorgungsverfahren (d. h. Kompostierung und Vergärung) entsorgt werden. Biokunststoffe, die biologisch abbaubar sind, unterscheiden sich also im Hinblick auf mögliche Entsorgungsverfahren von konventionellen Kunststoffen, die lediglich verbrannt, deponiert oder recycelt – aber eben nicht kompostiert – werden können. Ein Produkt aus einem biologisch abbaubaren Biokunststoff gilt in Europa dann als *industriell* kompostierbar, wenn es die entsprechende Industrienorm (EN 13432) erfüllt (European Bioplastics 2019e).

Zwischen den beiden charakteristischen Eigenschaften von Biokunststoffen – *Biobasiertheit* und *biologischer Abbaubarkeit* – spannt sich ein heterogenes Feld an polymeren Materialien auf, das sich in drei Subkategorien unterteilen lässt (European Bioplastics 2019f, siehe Abb. 1). Zu den Biokunststoffen, die sowohl biologisch abbaubar als auch biobasiert sind (rechts oben), zählt der Branchenverband im Jahr 2019 die Kunststoffe Polymilchsäure (PLA), Polyhydroxyalkanoate (PHA), Polybutylensuccinat (PBS) und Stärkeblends. Zu den

Biokunststoffen, die nicht biologisch abbaubar sind, aber vollständig oder teilweise aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt werden (oben links), zählt der Verband biobasiertes Polyethylen (Bio-PE), Polyethylenterephthalat (Bio-PET), Polyamid (PA) und Polytrimethylenterephthalat (PTT). Ein weiterer, noch nicht kommerziell verfügbarer, aber aktuell in der Entwicklung befindlicher biobasierter, nicht-biologisch abbaubarer Kunststoff, dem 2019 großes Marktpotential zugesprochen wird, ist Polyethylenfuranoat (PEF). Zu den Biokunststoffen, die aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden, aber dennoch biologisch abbaubar sind (rechts unten), gehören etwa Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT) und Polycaprolacton (PCL).

Abb. 1: Biokunststoffe sortiert nach Produkteigenschaften



Der Versuch Biokunststoffe zu definieren, macht zwei Dinge deutlich: erstens handelt es sich auf der stofflichen Ebene um ein höchst diverses Feld von Polymeren mit unterschiedlichen Eigenschaften; zweitens ist die Produktkategorie der Biokunststoffe relativ abstrakt und umfasst zwei unterschiedliche, voneinander unabhängige, als ökologisch qualifizierte Produkteigenschaften. Die ökologische Qualifizierung von Biokunststoffen kann sich einerseits auf die biologische Abbaubarkeit, und damit auf eine Entsorgungsqualität am *Lebensende* eines Kunststoffs beziehen, und andererseits auf die Biobasiertheit, und damit auf eine Produktionsqualität am *Lebensanfang* eines Kunststoffs. Chemisch betrachtet gibt es zwischen beiden Eigenschaften keinen intrinsischen Zusammenhang. Angesichts der Komplexität von Biokunststoffen steht die vorliegende Untersuchung also vor der Frage, *was* eigentlich genau in seinen Entstehungsbedingungen und Entwicklungsverläufen verfolgt werden soll und wie

dabei mit der Mehrdeutigkeit der Produktkategorie in der Analyse umgegangen werden soll. Bevor ich mein eigenes Forschungsvorhaben ausführlicher erläutere, wird der nächste Abschnitt rekapitulieren, wie andere sozialwissenschaftliche Arbeiten die Entwicklung von Biokunststoffen untersucht haben.

Biokunststoffe als Gegenstand der sozialwissenschaftlichen Forschung

Sozialwissenschaftliche Forschung, die sich mit Biokunststoffen auseinandersetzt, ist selten. Dennoch hat sich in jüngerer Zeit bereits eine kleine Literatur zu dem Thema entwickelt. Wenn die Entwicklung von Biokunststoffen sozialwissenschaftlich untersucht wurde, dann im Rahmen von Fallstudien zu einzelnen Firmen und Polymeren, im Rahmen betriebswirtschaftlicher Studien zu umweltfreundlichen Innovationen und in umfänglicheren Studien aus der Perspektive der *Science and Technology Studies* und der *Material Culture Studies*.

Fallstudien zu bestimmten Unternehmen und Polymeren haben Dämmrich (Dämmrich 2014; 2010) und Engelman Machado (Engelman Machado 2010) vorgelegt. Da hier einzelne Innovationsprozesse im Feld der Biokunststoffe betrachtet werden, spielt die Mehrdeutigkeit der Biokunststoffe als Produktkategorie in diesen Beiträgen keine Rolle. Der Fokus der Studien liegt vor allem auf der Frage nach den Bedingungen erfolgreicher Unternehmensstrategien im Bereich ‚grüner‘ Märkte. Dämmrich hat den Innovationsprozess des biologisch abbaubaren Biokunststoffs PBAT untersucht, den das deutsche Chemieunternehmen *BASF* unter dem Markennamen *Ecoflex* in den 1990er Jahren auf den Markt gebracht hat. Er argumentiert, dass die Einführung von *Ecoflex* einen ‚Co-Innovationsprozess‘ von Polymer, technischen Standards und Absatzmärkten involvierte. Die Studie zeigt, dass die Entwicklung von technischen Standards zwar eine Grundvoraussetzung für die Markteinführung von *Ecoflex* war, aber dennoch nicht ausreichte, um den von *BASF* anvisierten Markt aufzubauen.

Im Rahmen einer Fallstudie zum Biokunststoff Bio-Polyethylen, den das brasilianische Chemieunternehmen *Braskem* unter dem Markennamen *Green-PE* im Jahr 2009 auf den Markt brachte, untersucht Engelman Machado aus betriebswirtschaftlicher Perspektive, unter welchen Bedingungen Unternehmen durch die Entwicklung ‚nachhaltiger‘ Produktinnovationen einen Wettbewerbsvorteil erlangen können. Die Studie argumentiert, dass erfolgreiche Innovationsstrategien im Bereich ‚grüner‘ Produkte auf einer Kombination aus externen Möglichkeiten, internen Ressourcen, der glaubhaften Kommunikation der ökologischen

Wertversprechen und der Einbettung ‚grüner‘ Innovationsstrategien in die gesamte Unternehmensstrategie beruhen.

Im *Journal of Cleaner Production*, das sich in interdisziplinärer Perspektive mit umweltschonenden Produktionsprozessen und Innovationen befasst, wurden einige weitere Studien zu Biokunststoffen veröffentlicht. Die Arbeit von Iles und Martin (Iles und Martin 2013) vergleicht anhand von drei Unternehmen unterschiedliche Geschäftsmodelle von Biokunststoffherstellern. Während sich die Geschäftsmodelle der Herstellerunternehmen unterscheiden, attestieren die Autoren allen eine mangelnde Einbeziehung gesellschaftlicher Akteure in die Definition und Entwicklung ‚grüner‘ Produkte. Sie argumentieren, dass ‚grüne‘ Geschäftsmodelle im Bereich der Biokunststoffe nicht nur Standards und Labels benötigen, sondern auch sogenannte „accountability systems“, mit denen gesellschaftliche Akteure die ökologischen Wertversprechen der Unternehmen überprüfen können. Kishna und Co-Autoren haben eine Studie vorgelegt, die untersucht, wie Unternehmen in der Biokunststoffbranche versuchen, Legitimität für ihre Innovationen zu schaffen, indem sie untereinander und mit Non-Profit-Organisationen Allianzen eingehen (Kishna et al. 2016). Brockhaus und Co-Autoren haben die Einstellung potentieller Anwender von Biokunststoffen untersucht und dabei sowohl deren Motivation, Biokunststoffe zu verwenden, als auch die Hindernisse, die ihrer verstärkten Anwendung im Weg stehen, herausgearbeitet. Die Motivation unter Produktentwicklern zur Verwendung von Biokunststoffen liegt vor allem im Streben danach, nachhaltigere Produkte zu produzieren. Viele Anwenderunternehmen zögern jedoch aufgrund der Angst vor Greenwashing-Vorwürfen (Brockhaus, Petersen und Kersten 2016).

Während diese Studien Einblicke in die Entwicklung einzelner Polymere und aus einer unternehmensorientierten Perspektive in die Erfolgsbedingungen und Hindernisse ‚grüner‘ Innovationsstrategien geben, haben sich Sean Ferguson (Ferguson 2012) und Damla Tonuk (Tonuk 2016) aus der Perspektive der *Science and Technology Studies* bzw. der *Material Culture Studies* umfänglicher mit der Entwicklung von Biokunststoffen als neuer Materialklasse auseinandergesetzt. Fergusons Studie *Plastics Without Petroleum* untersucht die historische Entwicklung der Biokunststoffindustrie in den USA. Dabei konzentriert sich Ferguson auf die Entwicklung biobasierter Kunststoffe, während die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit eine untergeordnete Rolle spielt. Im Gegensatz zum offiziellen Narrativ von Industrie und Politik, das Biokunststoffe als nachhaltige Zukunftstechnologie der angestrebten Bioökonomie präsentiert, rekonstruiert Ferguson die lange Geschichte biobasierter Herstellungsverfahren in den USA: von der wirtschaftsnationalistischen

Chemurgie-Bewegung, die sich in den 1930er Jahren für eine stärkere Integration von Landwirtschaft und Chemieindustrie einsetzte, bis in die Gegenwart US-amerikanischer Technologiepolitik.

Fergusons Studie ist insofern instruktiv, als sie zeigt, dass Biokunststoffe das Resultat einer langwierigen Entwicklung sind, in die verschiedene Interessengruppen involviert waren. Außerdem macht er deutlich, dass es sich bei Biokunststoffen um umstrittene Güter handelt, deren ökologische Wertversprechen keinesfalls allgemein anerkannt sind. Beide Beobachtungen sind auch grundlegend für die vorliegende Arbeit. Im Gegensatz zur vorliegenden Studie argumentiert Ferguson allerdings aus der Perspektive einer normativ-kritischen Soziologie. Indem er die von Kapitalinteressen und politisch dominanten Akteuren vorangetriebene Entstehung der US-amerikanischen Biokunststoffindustrie offen legt, möchte er zeigen, dass die gegenwärtigen Biokunststoffe ihr ökologisches Wertversprechen deshalb nicht halten können, weil ökologisch motivierte Interessengruppen in ihrer Entwicklung marginalisiert wurden. Dass es sich bei ökologischen Produktqualitäten nicht um objektive, in den materiellen Eigenschaften von Dingen allein gründende Tatsachen handelt, sondern um soziale Konstrukte, die durch Wertzuschreibungs- und Bewertungsprozesse diskursiv ausgehandelt werden, gerät aus dieser normativen Perspektive, die Biokunststoffen ihre Umweltfreundlichkeit abspricht, weniger in den Blick. Außerdem bedeutet die Fokussierung auf die Eigenschaft der Biobasiertheit, dass die unterschiedlichen Einsatzpunkte des Innovationsprozesses der Biokunststoffe und damit die Mehrdeutigkeit der heutigen Produktkategorie kaum reflektiert wird.

Tonuks Arbeit zur Entwicklung von Biokunststoffen ist zwischen den *Science and Technology Studies* und den *Material Culture Studies* angesiedelt. Anders als Ferguson blendet Tonuk in ihrer Arbeit die Komplexität von Biokunststoffen als mehrdeutiger Produktkategorie nicht aus, sondern greift sie produktiv auf. Sie zeigt, wie die verschiedenen Subkategorien im gegenwärtigen Feld der Biokunststoffe ausgehandelt werden und durch Industriestandards und Zertifizierung objektiviert und sichtbar gemacht werden. In der Tradition der *Material Culture Studies* liegt der Fokus der Studie auf der Frage, wie Biokunststoffe als spezifische Material-Produkt-Kombinationen hergestellt werden. Ihre Analyse zeigt, dass die Herstellung von Biokunststoffen als Materialien nur verstanden werden kann, wenn sie in Bezug zu den sie umgebenden sozio-technischen Arrangements gesetzt wird. Die materielle Herstellung von Biokunststoffen geschieht demnach sowohl in Bezug zu antizipierten Anwendungsformen als auch in Bezug zu jenen konventionellen Kunststoffen, die sie substituieren sollen.

Tonuks Studie ist insofern instruktiv als sie deutlich macht, dass sich im Entwicklungsprozess der Biokunststoffe kontinuierlich neue Innovationsstrategien formieren und sich die Produktkategorie der Biokunststoffe dementsprechend im Laufe der Zeit verändert hat. Anders als Ferguson verortet Tonuk die Entstehung von Biokunststoffen allerdings um das Jahr 2006, als sich der Begriff Biokunststoff als Bezeichnung für die neue Materialklasse etabliert hat. Wie es dazu kam, dass alternative Innovationsziele in der Kunststoffentwicklung überhaupt entstanden sind, bleibt weitgehend unbeleuchtet. Zudem deutet Tonuk zwar an, dass es auch Kritiker von Biokunststoffen gibt, und vermutet, dass diese einen Einfluss auf die Bewertung der Materialien nehmen, geht diesem Einfluss aber nicht detaillierter nach. An diesen Punkten setzt die empirische Untersuchung in dieser Arbeit an.

Theoretischer Rahmen und Fragen der vorliegenden Studie

Die vorliegende Studie schließt an die bestehenden Arbeiten zu Biokunststoffen an und ergänzt sie um eine wirtschaftssoziologische Perspektive, die sich mit den sozialen Voraussetzungen ökonomischen Handelns befasst. Aus dem Blickwinkel der Wirtschaftssoziologie wirft die Innovation der Biokunststoffe die allgemeine Frage auf, wie es zur Veränderung in Märkten kommt. Ich begreife die Entwicklung von Märkten für Biokunststoffen in dieser Arbeit als *Marktinnovationsprozess* (Kjellberg, Azimont und Reid 2015), weil Unternehmen mit Biokunststoffen keine *vollkommen* neuen Märkte für Produkte aufbauen, die ein gänzlich neues Bedürfnis befriedigen. Vielmehr versuchen sie, etablierte Kunststoffmärkte durch technologische Innovationen mit einem ökologischen Qualitätsanspruch zu verändern und somit ein ökologisches Wert- und Bewertungsprinzip in Kunststoffmärkten geltend zu machen. Wenngleich die ökologischen Wertversprechen der Biokunststoffe umstritten sind, besteht der formulierte Anspruch der Innovation im Versuch, ökonomische und ökologische Werte miteinander zu verbinden. Wie also lässt sich der Marktinnovationsprozess der Biokunststoffe und damit die Entwicklung von Neuem in der Kunststoffökonomie soziologisch erklären?

Veränderung in der Ökonomie wird in der bestehenden soziologischen Literatur einerseits aus dem Blickwinkel der Dynamik untersucht. Hier werden etwa soziale Bewegungen, Dissonanz zwischen unterschiedlichen gesellschaftlichen Werten, die Problematisierung und das Scheitern etablierter Handlungsrouninen oder struktureller, kultureller und institutioneller Wandel als destabilisierende Faktoren in der Wirtschaft in den Fokus gerückt (z. B. Beckert 2010; B. King und Pearce 2010; Overdevest 2011; Stark 2009). Auf der anderen Seite hat sich in der Marketing-Management-Forschung im Anschluss an die Theorietradition der Akteur-Netzwerk-Theorie in jüngerer Zeit eine Forschungsrichtung entwickelt, die Marktinnovation

als Stabilisierungsprozess untersucht, in dem sich neue Marktarrangements durch die Bildung neuer Netzwerke, technischer Infrastrukturen und Institutionen verfestigen (Kjellberg, Azimont und Reid 2015; Vargo, Wieland und Akaka 2015). Diese Studien machen in marktsoziologischer Tradition darauf aufmerksam, dass jede Veränderung von Märkten auch den Aufbau neuer Beziehungen und die Institutionalisierung neuer Routinen und Regeln involviert.

Die vorliegende Studie zielt darauf ab, beide Perspektiven miteinander zu verbinden und damit einen Beitrag zum soziologischen Verständnis der Veränderung von Märkten zu leisten. Ich schlage in dieser Arbeit vor, Marktinnovation als doppelten Prozess zu analysieren, der sowohl die Dynamisierung bestehender Marktbeziehungen als auch den Aufbau und die Stabilisierung neuer Marktbeziehungen involviert. Es stellt sich also einerseits die Frage, wie es zu einem Bruch mit dem Alten kommt und wie Neues überhaupt entsteht, und andererseits, wie sich Innovationen angesichts unterschiedlicher Interessen durchsetzen und stabilisieren.

Ausgehend von dieser doppelten Perspektive auf Veränderungsprozesse gliedert sich die empirische Untersuchung in dieser Arbeit in zwei Teile. Im ersten Teil der Studie rücke ich die historischen Entstehungsbedingungen heutiger Biokunststoffmärkte in den Fokus. Wie also kam es dazu, dass in der Kunststoffentwicklung neue Innovationstrategien verfolgt wurden, die einerseits darauf zielten, Kunststoffe nicht mehr aus Erdöl, sondern aus Pflanzen herzustellen und die andererseits darauf zielten, Kunststoffe nicht mehr vor einem biologischen Abbau zu bewahren, sondern diesen gerade willentlich herbeizuführen? Kurz: Wie kam es zu einer Abkehr von den traditionellen Zielen und Routinen der Kunststoffentwicklung? Um diese Fragen zu beantworten, nehme ich in dieser Arbeit eine spezifisch kultursoziologische Perspektive auf die Veränderung von Märkten ein, die davon ausgeht, dass Märkte auf Wertzuschreibungen gründen, die in makrokulturellen Bedeutungsstrukturen verankert sind. Damit überhaupt Märkte entstehen, müssen Objekte, Tätigkeiten oder Produkteigenschaften als wertvoll wahrgenommen werden, da sonst weder in ihre Produktion noch in ihren Konsum investiert wird. Mit wertvoll meine ich dabei sowohl die Zuschreibung von Gebrauchs- oder Symbolwert als auch die Zuschreibung von Marktpotential, also (potentiellem) monetärem Wert. Die Frage nach Veränderung ist aus dieser Perspektive eine Frage nach der Abwertung von Bestehendem und der Aufwertung von Neuem. Wie also wurden Produkteigenschaften wie Biobasiertheit und biologische Abbaubarkeit in der Kunststoffentwicklung wertvoll, die vorher als minderwertig galten? Und wie entwickelten sich bereits lange bekannte, aber ökonomisch

wertlose molekulare Verbindungen zu neuen Innovationsobjekten in der Kunststoffentwicklung?

Ich werde die These vertreten, dass sich die Wahrnehmung der Werthaftigkeit von biologischer Abbaubarkeit und Biobasiertheit im Kontext kollektiver Krisendiagnosen im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts herausgebildet hat, in denen bislang geltende Zukunftsnarrative brüchig wurden und sich neue Zukunftsnarrative formiert haben. Indem ich den Zusammenhang von Wertzuschreibung und Zukunftsnarrativen in den Fokus rücke, schließe ich an ein neues Forschungsprogramm in der Wirtschaftssoziologie an, das die temporale Dimension wirtschaftlicher Prozesse in den Vordergrund rückt (Beckert 2016; 2013). Die vorliegende Studie zielt darauf ab, diese neue Forschungsperspektive für die empirische Untersuchung von Marktinnovationsprozessen fruchtbar zu machen. Im Anschluss an die Arbeiten von Jens Beckert argumentiere ich, dass Erzählungen über die Zukunft Sinnressourcen für die Zuschreibungen von Wert in der Ökonomie darstellen (Beckert 2016: 17). ‚Imaginierte Zukünfte‘ dienen Akteuren als wahrnehmungs- und handlungsleitende interpretative Rahmen, mit denen sie sich in der Unsicherheit des Markthandelns orientieren (ebd.:9). Das gilt, wie ich zeigen werde, vor allem in Krisensituationen, in denen bislang geltende Routinen in Frage gestellt werden und sich neue technologische Visionen formieren. Bei technologischen Visionen handelt es sich, wie erwartungssoziologische Ansätze deutlich machen, um interpretative Rahmen, die dazu dienen, Zukunftswert zu präsentieren und das Handeln von Akteuren im Innovationsprozess zu orientieren (Borup et al. 2006). Wie ich für den Fall der Biokunststoffe detailliert herausarbeiten werde, sind Erwartungen an zukünftige Technologien soziale Phänomene, die sich in kommunikativen Prozessen zwischen unterschiedlichen Akteuren herausbilden und die in bestimmten historischen, kulturellen und politischen Kontexten verankert sind. Durch die Analyse öffentlich kommunizierter Erwartungen werde ich nachzeichnen, wie der Zukunftswert der beiden charakteristischen Eigenschaften der Biokunststoffe – (Biologische) Abbaubarkeit und Biobasiertheit – zwischen Polymerchemikern, Kunststoffindustrie, Umweltschützern und Politik in den 1970er und 1980er Jahren konstruiert wurde.

Die Frage nach den Entstehungsbedingungen von Neuheit und die Untersuchung der Erwartungsbildung um neue Technologien reicht allerdings nicht aus, um den Marktinnovationsprozess der Biokunststoffe zu analysieren. Während sich erwartungssoziologische Ansätze vorrangig damit auseinandersetzen, wie technologische Visionen die Entwicklung noch nicht existierender Technologien in frühen Phasen des

Innovationsprozesses prägen, will ich am Beispiel ‚grüner‘ Kunststoffe zeigen, dass abstrakte technologische Visionen, sind sie einmal in der Welt, kontinuierlich in konkrete Produkte realisiert werden, mit denen Unternehmen versuchen, etablierte Märkte zu verändern. Um Marktinnovationsprozesse zu untersuchen, müssen also auch solche Situationen in den Blick genommen werden, in denen technologische Visionen in neue Produkte und den Aufbau neuer Marktbeziehungen übersetzt werden. In diesen Situationen treffen Innovationen auf potentielle Nachfrager und Konkurrenten und ein Umfeld aus Regulationsinstanzen, technischen Infrastrukturen und Marktintermediären. Im Anschluss an Forschungsbeiträge aus der Innovationssoziologie gehe ich von der Annahme aus, dass Innovationen in dieses Umfeld eingebettet werden müssen. Damit sich Neues stabilisiert, müssen also nicht nur neue Marktbeziehungen zwischen Anbietern und Nachfragern aufgebaut werden, sondern Innovationen müssen auch regulatorisch zugelassen werden, möglicherweise kompatibel gemacht werden mit bestehenden technischen Infrastrukturen und auch gesellschaftlich legitimiert werden (Deuten, Rip und Jelsma 1997).

Das gilt auch für die Innovation der Biokunststoffe. Erstens handelt es sich um Materialien, die primär für die Herstellung von Einwegprodukten und Verpackungen verwendet werden, also für Produkte, die kurz nach ihrer Verwendung bereits wieder im Abfall landen. Kunststoffe als Verpackungsmaterialien müssen in vielen Ländern besondere Entsorgungsanforderungen erfüllen. Für Biokunststoffe heißt das, dass sie in Märkten gehandelt werden, die in politisch festgelegte Entsorgungskonzepte eingebettet sind, die wiederum mit technischen Entsorgungsinfrastrukturen verknüpft sind. Der Marktinnovationsprozess involviert daher nicht einfach nur den Aufbau neuer Marktbeziehungen zwischen Kunststoffanbietern und Kunststoffnachfragern, sondern auch die Einbettung der Stoffe in formelle Institutionen und Infrastrukturen der Entsorgungswirtschaft.

Zweitens handelt es sich bei Biokunststoffen um Güter, die nicht nur einen bestimmten Gebrauchswert haben (z. B. die sichere Verpackung eines Lebensmittels), sondern die mit dem kollektiven Wertversprechen vermarktet werden, zum Schutz der Umwelt beizutragen. In Märkten für Güter mit ökologischem Qualitätsanspruch fungieren Akteure aus dem Bereich des Umweltschutzes, die außerhalb der eigentlichen Marktbeziehungen stehen, als Bewertungsinstanzen, die Neues legitimieren oder eben nicht (Arnold und Hasse 2016). Im Fall der Biokunststoffe ist die öffentliche Legitimierung ökologischer Wertversprechen besonders entscheidend für den Aufbau von Marktbeziehungen, weil sie preislich nicht mit konventionellen Kunststoffen konkurrieren können. Für Kunststoffnachfrager involviert der

Wechsel von Kunststoffen zu Biokunststoffen die Zahlung einer Preisdifferenz, für die sie einen entsprechenden Gegenwert in Form einer ‚strategischen Leistung‘ erwarten. Das heißt, Kunststoffnachfrager erhoffen sich von der Verwendung von Biokunststoffen, dass Verbraucher sie als ‚grüner, nachhaltiger, Co2-sparend und innovativ‘ (Carus, Eder und Beckmann 2014: 2) wahrnehmen. Für diese Wahrnehmung ist eine öffentliche Anerkennung der ökologischen Wertversprechen ausschlaggebend.

Ausgehend von diesen Überlegungen untersuche ich im zweiten Teil der Studie, wie Unternehmen seit Mitte der 1980er Jahre versucht haben, neue Marktbeziehungen für ‚grüne‘ Kunststoffe aufzubauen und zu stabilisieren und auf welche Reaktionen sie dabei seitens des Marktumfeldes gestoßen sind. Die Studie basiert dabei auf einem konflikttheoretischen Verständnis von Märkten. Im Anschluss an Neil Fligstein gehe ich davon aus, dass einerseits etablierte und herausfordernde Unternehmen in Märkten um Positionen ringen, andererseits aber auch unterschiedliche Transformationsprojekte selbst miteinander um die Veränderung von Märkten konkurrieren (Fligstein 2001). Die im zweiten Teil der Untersuchung rekonstruierte Entwicklung ist nicht als linearer Prozess von der technologischen Vision zum Markt zu begreifen. Ich untersuche die Marktentwicklung ‚grüner‘ Kunststoffe vielmehr als eine Reihe sukzessiver Marktschaffungsversuche mit *unterschiedlichen*, als ‚grün‘ qualifizierten Kunststoffen. Zwischen Mitte der 1980er Jahre und heute veränderten sich sowohl die konkreten Polymere, die als Wettbewerber zu konventionellen Kunststoffen in Stellung gebracht wurden, als auch die mit diesen Polymeren verknüpften Produktkategorien.

Die Studie wird zeigen, dass es sich bei der Entwicklung von Märkten für ‚grüne‘ Kunststoffe nicht um eine reine Erfolgsgeschichte handelt. Sie steht vielmehr in einem Spannungsverhältnis zwischen dem Entwurf verheißungsvoller Zukünfte auf der einen Seite und einer problematischen Realisierung auf der anderen. Die Analyse dieser Entwicklung wird sich vor allem auf die Reaktionen des Marktumfeldes konzentrieren – und hier insbesondere auf Konfliktkonstellationen, Widerstände, und Kompatibilitätsprobleme zwischen dem Neuen und dem Bestehenden –, die sich den anvisierten Marktschaffungsversuchen der Hersteller ‚grüner‘ Kunststoffe in den Weg gestellt haben. Ich gehe von der These aus, dass die Reaktionen des Marktumfeldes, bestehend aus Entsorgungswirtschaft, politischen Regulationsinstanzen und Marktintermediären, einen Einfluss auf den Erfolg bzw. auf die Richtung von Marktinnovationsprozessen nehmen. Indem ich nicht nur die Erwartungsbildung um neue Technologien, sondern auch eine Reihe von Implementationsversuchen in den Blick nehme,

will ich zeigen, dass sich Dynamik in Marktinnovationsprozessen in einem Wechselspiel zwischen dem Entwurf alternativer Zukünfte und dem Versuch, diese zu realisieren, entfaltet.

Forschungsdesign und Quellenmaterial

Für die vorliegende Arbeit wurde das Design einer Einzelfallstudie gewählt, da es sich dabei um eine Forschungsstrategie handelt, die es ermöglicht, komplexe Vorgänge in der realen Welt sowohl in ihrer Binnenstruktur als auch in ihrer Kontextabhängigkeit umfassend zu verstehen (Hering und Jungmann 2019; Yin 1984). Neben einem tiefgehenden Verständnis des konkreten Falls eignet sich die Einzelfallstudie auch für Untersuchungen mit einem theoretischen Erkenntnisinteresse (Hering und Jungmann 2019: 530). Dabei muss vorweg angemerkt werden, dass jeder Marktinnovationsprozess seine Eigenheiten aufweist. Es handelt sich bei Veränderungen in der Ökonomie immer um historisch situierte Entwicklungen, die sich nicht in linearen, stufenweisen und immergleichen Abläufen ereignen. Das bedeutet auch, dass ich in dieser Arbeit keine verallgemeinerbaren Gesetze aufstellen kann. Die Verallgemeinerbarkeit der Erkenntnisse ergibt sich in Einzelfallstudien wie dieser durch das Herausarbeiten abstrakter Mechanismen, die der konkrete Fall nahelegt und die sich möglicherweise auf andere Innovationsprozesse übertragen lassen (ebd.: 536).

Fallstudien zeichnen sich dadurch aus, dass sie unterschiedliche Datenquellen nutzen, um einen Prozess in seiner Gänze zu rekonstruieren (Yin 1984: 78). Da es für die Entwicklung von Märkten für Biokunststoffe keine offiziellen statistischen Erhebungen oder andere Datenquellen gibt, die diese in ihrem prozessualen Ablauf über einen längeren Zeitraum abbilden, und weil ich mich vor allem auch für den kulturellen und politischen Kontext der Entwicklung interessiere, habe ich eigenes Quellenmaterial gesammelt. Meine Arbeit stützt sich einerseits auf prozessgenerierte Dokumente und andererseits auf leitfadengestützte Experteninterviews.

Bei prozessgenerierten Dokumenten handelt es sich um Daten, die nicht mit dem Ziel einer sozialwissenschaftlichen Analyse erhoben wurden, sondern gewissermaßen als ‚Nebenprodukt‘ des zu untersuchenden Prozesses selbst entstanden sind (Baur 2011: 1234). Gerade für die Analyse eines langfristigen Marktinnovationsprozesses erlauben prozessgenerierte Dokumente Einsicht in Situationen und Entwicklungen in jenen Momenten, in denen sie sich ereignen. Da ich mich *nicht* für den technologischen Innovationsprozess eines bestimmten Polymers in einem bestimmten Unternehmen interessiere, sondern für die Entwicklung und Veränderung von Märkten für Biokunststoffe in intersubjektiven Aushandlungen zwischen unterschiedlichen

Akteuren, habe ich mich auf öffentlich erhältliche Dokumente konzentriert, in denen (biologisch) abbaubare und biobasierte Kunststoffe thematisiert werden. Dabei habe ich unterschiedliche Arten von Dokumenten verwendet.

Zu den wichtigsten Quellen in dieser Arbeit gehören Industriemagazine der Chemie- und Kunststoffindustrie wie *Chemical Week*, *Modern Plastics International*, *Kunststoffe* oder *Bioplastic Magazine*. Dabei war es zum Teil möglich, mit Stichwortsuche in Zeitschriftenarchiven und Datenbanken nach relevanten Artikeln zu suchen, die teilweise auch digitalisiert erhältlich waren. Gerade für die Zeiträume der 1970er und 1980er Jahre lagen die Artikel allerdings kaum in digitalisierter Form vor, sodass ich Zeitschriften in den Bibliotheken der *TH Köln* und der *ETH Zürich* händisch nach relevanten Artikeln durchsucht habe. Eine Auflistung der Zeitschriften und der verwendeten Suchbegriffe befindet sich im Anhang.

In Industriemagazinen schreiben vor allem technische Redakteure über Entwicklungen in der Chemie- und Kunststoffindustrie. Es kommen in diesen Artikeln aber immer auch Wissenschaftler oder Unternehmensvertreter zu Wort, die sich zu bestimmten Innovationsstrategien äußern. Industriemagazine geben Auskunft über Wissenschaftler und Unternehmen, die an alternativen Kunststofftechnologien arbeiten, über konkrete Polymere, über Produktkategorien und die Eigenschaften, die den Polymeren zugeschrieben werden, über Problemkontexte, auf die Innovationsstrategien antworten und über Erwartungen, die an Innovationsstrategien geknüpft sind. Im Zeitverlauf lassen sich in Industriemagazinen Veränderungen auf der Ebene des technologischen Designs von Polymeren und auf der Ebene der Produktkategorien rekonstruieren. Berichte über Innovationsstrategien, die in Fachzeitschriften der *bestehenden* Kunststoffindustrie erscheinen, geben außerdem Einblick in die Reaktionen etablierter Kunststoffhersteller auf neue Ideen und Stoffe. Sie eignen sich daher auch besonders, um das Verhältnis zwischen Herausforderern und angestammten Unternehmen in Kunststoffmärkten herauszuarbeiten. Neben Industriemagazinen habe ich zudem eine Reihe von Konferenzbänden bzw. Berichten der etablierten Kunststoffindustrie herangezogen, um deren Reaktion auf alternative Kunststofftechnologien zu rekonstruieren.

Neben Industriemagazinen habe ich auch auf wissenschaftliche Artikel, Konferenzbeiträge, Patente und Pressemitteilungen von einzelnen Wissenschaftlern, Unternehmen und deren Verbänden zurückgegriffen, die an (biologisch) abbaubaren bzw. biobasierten Kunststoffen gearbeitet haben bzw. noch arbeiten und versuchen, diese in Kunststoffmärkten zu positionieren. An diesen Dokumenten lässt sich ablesen, mit welchen Wertversprechen die Innovationen verknüpft und wie unterschiedliche Innovationen voneinander abgegrenzt

werden. Dadurch konnte ich einerseits einen Einblick in die zukunftsgerichteten Geschichten gewinnen, die Wissenschaftler und Unternehmen über ihre eigenen Innovationsstrategien erzählen, und andererseits in die Wettbewerbsbeziehungen zwischen unterschiedlichen Polymeren und ihren Herstellern.

Da mit Biokunststoffen ökologische Wertversprechen verknüpft sind, habe ich auch Publikationen zur Auswertung herangezogen, die sich der Umweltbewegung bzw. dem organisierten Umweltschutz zuordnen lassen. Dazu gehören z. B. Artikel aus Umweltmagazinen, Publikationen einzelner Umweltaktivisten, fiktionale Ökoutopien, Stellungnahmen von Umweltschutz- und Verbraucherschutzverbänden, Reports und Studien von Umweltämtern und Ökobilanzstudien von Umweltforschungsinstituten. Anhand dieser Publikationen lassen sich erstens die ökologische Kritik an konventionellen Kunststoffen, zweitens die ökologischen Erwartungen, die mit alternativen Kunststofftechnologien verknüpft werden, und drittens die Reaktionen des organisierten Umweltschutzes auf die Markteinführung von (biologisch) abbaubaren und biobasierten Kunststoffen herausarbeiten.

Da staatliche Institutionen sowohl in die Entwicklung von alternativen Kunststofftechnologien investieren und außerdem Kunststoffmärkte gesetzlich regulieren, habe ich weiterhin eine Reihe von Dokumenten einbezogen, die sich staatlichen Institutionen zuordnen lassen. Dazu gehören z. B. Foresight Studien, Green Papers, Gesetze, Verordnungen und Beschlüsse, Reports zu neuen Kunststofftechnologien, oder auch Aufzeichnungen von Anhörungen und Parlamentsdebatten.

Zur geographischen Verortung der hier untersuchten Entwicklung ist anzumerken, dass (biologisch) abbaubare bzw. biobasierte Kunststoffe zunächst primär in Nordamerika, Europa und Japan entwickelt wurden. In diesen Regionen findet seit Ende der 1960er Jahre sowohl Kritik am ökologischen Zerstörungspotential von Kunststoffen statt, und hier sind die Wissenschaftler und Unternehmen angesiedelt, die damit begannen, an alternativen Kunststofftechnologien zu arbeiten. Aus sprachlichen Gründen konzentriere ich mich auf Dokumente aus dem nordamerikanischen bzw. europäischen Raum. Kapitel 7 wird sich auf Marktschaffungsversuche in Deutschland konzentrieren, um Einbettungsversuche in institutionelle Rahmenbedingungen und technische Infrastrukturen zu untersuchen. Daher habe ich für dieses Kapitel Textmaterial gesammelt, das sich speziell auf den deutschen Kontext bezieht. Bei der Auswertung der Dokumente kam keine spezifische Analyseverfahren zur Anwendung.

Die zweite Datengrundlage bilden elf leitfadengestützte Experteninterviews, die ich zwischen 2016 und 2017 durchgeführt habe. Experteninterviews dienen in den Sozialwissenschaften ebenfalls zur Rekonstruktion sozialer Prozesse und ermöglichen dabei insbesondere den Zugang zum Spezialwissen involvierter Akteure (Gläser und Laudel 2010: 12). Mit den Experteninterviews habe ich vor allem zwei Zwecke verfolgt: Erstens können Experten einen Einblick ‚hinter die Kulissen‘ geben, also Informationen bereitstellen, die in öffentlichen Darstellungen nicht dokumentiert werden, und so überraschende Erkenntnisse für die sozialwissenschaftliche Analyse liefern (Baur 2011: 1249). Die Interviews haben mich beispielsweise dazu gebracht, die Widerstände in Marktschaffungsprozessen stärker in den Fokus der Studie zu rücken. Während Biokunststoffe in offiziellen Darstellungen von Industrie und Politik häufig als Leitmarkt, innovative Zukunftstechnologie oder Wachstumsfeld dargestellt werden, wurde ich in einigen Interviews vor allem mit der Beschreibung von Problemen und Hindernissen beim Aufbau neuer Marktbeziehungen konfrontiert.

Zweitens können Experteninterviews in Studien, die sich primär auf prozessgenerierte Dokumente stützen, dazu dienen, bestimmte Hypothesen, die sich durch die Auswertung von Dokumenten ergeben haben, gewissermaßen zu ‚testen‘, bzw. durch Akteure validieren zu lassen, die selbst Teil des Prozesses sind (ebd.). Im untersuchten Fall hat die Auswertung der Dokumente beispielsweise gezeigt, dass sich die Gewichtung von Innovationsstrategien in der Biokunststoffbranche im Laufe der Zeit verschoben hat. Diese These habe ich entsprechend in den Leitfaden aufgenommen.

Zu den Interviewpartnern gehörten aktuelle und ehemalige Vertreter von Biokunststoffanbietern wie *Novamont (Italien)*, *Natureworks (USA)*, *BASF (Deutschland)*, *Biotec (Deutschland/Frankreich)* und *FKuR (Deutschland)*, die in unterschiedlichen Unternehmensbereichen tätig sind oder waren. Ich habe u. a. mit Unternehmensgründern, Managern für Verkauf, Marktentwicklung, Umweltthemen sowie Forschung und Entwicklung gesprochen. Auch Vertreter des europäischen Branchenverbandes *European Bioplastics*, Vertreter der Entsorgungsbranche und Berater im Feld der Biokunststoffe, wurden interviewt. Alle Interviews, die zwischen einer und vier Stunden dauerten, wurden mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet.

Die Interviews dienen in dieser Arbeit vor allem zur Rekonstruktion späterer Phasen des Marktinnovationsprozesses seit den 1990er Jahren. Für die Analyse der Marktschaffungsversuche in Deutschland habe ich sechs Interviews mit Gesprächspartnern ausgewählt, die daran beteiligt waren, in Deutschland einen Markt für biologisch abbaubare

Kunststoffe aufzubauen. Diese Interviews wurden transkribiert und mithilfe einer qualitativen Analysesoftware thematisch ausgewertet. So konnte ich herausarbeiten, was die Interviewpartner unternommen haben, um einen Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe in Deutschland aufzubauen und auf welche Probleme und Schwierigkeiten sie dabei gestoßen sind. In der Arbeit werden die Interviewpartner in anonymisierter Form zitiert.

Mithilfe von Dokumenten konnte ich die Aussagen der Interviews abgleichen und ergänzen. Ebenso habe ich an drei Industriekonferenzen bzw. Workshops zu Biokunststoffen³ teilgenommen. Dort konnte ich informelle Gespräche mit Unternehmensvertretern führen und eine Vielzahl von Präsentationen zu aktuellen Entwicklungen in der Biokunststoffindustrie anhören, die als Hintergrundinformationen in die Arbeit eingeflossen sind.

Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich wie folgt: Auf diese Einleitung folgt der theoretische Teil der Studie. Ausgehend von Konzepten aus der Wirtschaftssoziologie, der Innovationsforschung, der Management- und Organisationsforschung sowie der soziologischen Theorie entwickle ich den theoretischen Rahmen für die Analyse des Marktinnovationsprozesses der Biokunststoffe. Mit dem Konzept der sozialen Einbettung führe ich zunächst in das grundlegende Verständnis von Märkten in dieser Arbeit ein. Anschließend beschäftige ich mich mit Veränderungsprozessen in der Ökonomie und konzeptualisiere Marktinnovation als doppelten Prozess der Dynamisierung und Stabilisierung von Märkten. Im Anschluss an pragmatistische Theorieansätze schlage ich erstens vor, kollektive Krisen als transformative Momente zu begreifen, in denen sich Erwartungen an die Zukunft verändern und sich der Raum öffnet für neue Ideen. Zweitens konzeptualisiere ich die Implementation von Technologien als Situation, in der Neues auf Bestehendes trifft. Ich argumentiere, dass Innovationen in bestehende Institutionen und Infrastrukturen eingebettet werden müssen und von relevanten Marktintermediären auf ihre Wertversprechen hin überprüft werden.

Die anschließende empirische Untersuchung wendet das theoretisch entwickelte Analysemodell auf den empirischen Fall der Biokunststoffe an und gliedert sich in zwei Hauptteile. In *Teil I* gehe ich der Frage nach, wie zwischen den späten 1960er und 1980er Jahren neue Innovationsziele entstanden sind, die von den etablierten Routinen der Kunststoffentwicklung abwichen. Ich analysiere, wie sich Erwartungen an Kunststoffe im

³ Zu den besuchten Konferenzen bzw. Workshops gehörte die „12th European Bioplastics Conference“ (2016), die „Biopac Conference“ (2017) und der Workshop „Bio-based Building Blocks and Polymers - Markets, Trends and Innovations“ des Nova-Instituts (2017).

Kontext kollektiver Krisendiagnosen veränderten und wie sich neue Erwartungen an die Entwicklung (biologisch) abbaubarer bzw. biobasierter Kunststoffe formierten. Um der Mehrdeutigkeit der heutigen Produktkategorie der Biokunststoffe gerecht zu werden, untersuche ich die Vision (biologisch) abbaubarer Kunststoffe und die Vision biobasierter Kunststoffe in ihren Entstehungsbedingungen unabhängig voneinander. Damit will ich deutlich machen, dass der Marktinnovationsprozess der Biokunststoffe nicht nur *einen* historischen Einsatzpunkt hat, und dass das Wertversprechen der Stoffe aus unterschiedlichen kollektiven Verhandlungen des Zukünftigen hervorgeht.

Im dritten Kapitel rekonstruiere ich, wie sich (biologische) Abbaubarkeit zu einer potentiell wertvollen Eigenschaft für Kunststoffe entwickelt hat. Dazu analysiere ich zunächst den Wandel der kulturellen Bedeutung von Kunststoffen zwischen der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts und dem Zeitraum um das Jahr 1970, als sich der Schutz der Umwelt als Wert- und Bewertungsprinzip in modernen Industrieländern fest verankerte. Diesen Wandel lese ich an den mit Kunststoffen verbundenen Zukunftsnarrativen ab. Weiterhin untersuche ich, welches Wertversprechen Polymerchemiker mit ‚abbaubaren Kunststoffen‘ verknüpften und auf welche Reaktionen die neue Idee der Abbaubarkeit von Kunststoffen in den frühen 1970er Jahren stieß.

Im vierten Kapitel setze ich abermals in den 1970er Jahren an. Parallel zur Entstehung der Idee der (biologischen) Abbaubarkeit widme ich mich hier der Frage, wie sich Biobasiertheit im Kontext unterschiedlicher Krisendiagnosen in den 1970er und 1980er Jahren zu einer wertvollen Eigenschaft für Kunststoffe entwickelte. Ich analysiere dazu Auseinandersetzungen über die Zukunft der Rohstoffgrundlage industrieller Prozesse in drei Bereichen – in der Chemie- und Kunststoffindustrie, unter Umweltschützern und in politischen Institutionen. Während Kapitel vier ökonomische, ökologische und technologiepolitische Erwartungen an die industrielle Nutzung pflanzlicher Rohstoffe herausarbeitet, befasse ich mich im fünften Kapitel mit der Geschichte von zwei konkreten biobasierten Polymeren. Ich untersuche hier die Frage, wie sich wertlose molekulare Verbindungen, die bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wissenschaftlich beschrieben wurden, im Kontext der neuen Erwartungen an die industrielle Nutzung pflanzlicher Rohstoffe zu Innovationsobjekten entwickelten.

Teil II der empirischen Untersuchung widmet sich den eigentlichen Versuchen, Märkte für ‚grüne‘ Kunststoffe zu schaffen, also der Implementationsphase in Innovationsprozessen. Ich frage, wie Unternehmen versucht haben, neue Marktbeziehungen für Kunststoffe mit ökologischem Qualitätsanspruch aufzubauen und zu stabilisieren und wie das Marktumfeld auf

diese Versuche reagiert hat. Dazu rekonstruiere ich die Entwicklung von Märkten für ‚grüne‘ Kunststoffe zwischen Mitte der 1980er Jahre und heute, wobei ich drei zeitliche Sequenzen unterscheide. Im sechsten Kapitel rekonstruiere ich die erste Phase zwischen Mitte der 1980er Jahre und Anfang der 1990er Jahre, als Unternehmen erstmals versucht haben, etablierte Kunststoffmärkte mit ‚abbaubaren Kunststoffen‘ herauszufordern. Im siebten Kapitel untersuche ich eine zweite zeitliche Sequenz seit Anfang der 1990er Jahre, als neue Unternehmen mit neuen Polymeren, einen Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe aus pflanzlichen und fossilen Rohstoffen aufbauen wollten. Hier konzentriere ich mich auf Marktschaffungsversuche in Deutschland. Im achten Kapitel rekonstruiere ich die jüngsten Entwicklungen seit Beginn der 2000er Jahre. In dieser Phase brachten abermals neue Unternehmen biobasierte, nicht-biologisch abbaubare Kunststoffe als neue Wettbewerber in Kunststoffmärkten in Stellung und es etablierte sich die heutige Produktkategorie der Biokunststoffe. Ich werde zeigen, dass sich im Prozess der Marktentwicklung immer wieder neue Abgrenzungsmöglichkeiten zwischen unterschiedlichen Polymeren und Produktkategorien ergeben haben und Kunststoffhersteller immer wieder neu definieren konnten, was ein ‚grüner‘ Kunststoff leisten soll. Im abschließenden neunten Kapitel fasse ich die zentralen Ergebnisse der Arbeit zusammen.

2. Märkte, Marktinnovation und imaginierte Zukünfte

Als zentrale Mechanismen zur Güterallokation im Kapitalismus stehen Märkte im Fokus wirtschaftssoziologischer Forschung. Im Gegensatz zur neoklassischen Wirtschaftswissenschaft werden Märkte in der Soziologie allerdings nicht als abstrakte Mechanismen der Preisbildung, sondern als konkrete, in ihrer Ausgestaltung empirisch zu untersuchende soziale Formationen begriffen. Die Soziologie interessiert sich vornehmlich dafür, wie Austausch- und Konkurrenzbeziehungen zwischen Produzenten und Konsumenten sozial strukturiert sind. Aus wirtschaftssoziologischer Perspektive wird nicht von einer natürlichen Veranlagung des Menschen zum Tauschhandel ausgegangen, sondern nach den sozialen Voraussetzungen von Märkten gefragt (Beckert 2007).

Ausgehend von der soziologischen Grundannahme, dass Märkte sozial bedingt sind, werden im Folgenden die zentralen theoretischen Perspektiven und Konzepte dargestellt, welche die Analyse des Marktinnovationsprozess der Biokunststoffe in dieser Arbeit anleiten sollen. Der problemorientierte Literaturüberblick gliedert sich in drei Abschnitte, die den theoretischen Rahmen der Arbeit entwickeln. Um in das grundlegende Verständnis von Märkten in dieser Arbeit einzuführen, widme ich mich in Kapitel 2.1. zunächst dem Thema der sozialen Strukturierung des Markthandelns. Dazu rekurriere ich auf das in der Wirtschaftssoziologie etablierte Konzept der *sozialen Einbettung*. Im Anschluss daran beschäftige ich mich in Kapitel 2.2. mit den dynamischen Prozessen der kapitalistischen Ökonomie. Für die Frage nach der Veränderung von Märkten stößt das Einbettungskonzept aufgrund seiner statischen Ausrichtung an seine Grenzen. Daher befasse ich mich im zweiten Teil des Kapitels mit Forschungsbeiträgen, die sich mit der Konzeptualisierung von Veränderungsprozessen in der Ökonomie auseinandersetzen und schlage vor, die Veränderung von Märkten als einen doppelten Prozess zu analysieren, der einerseits die Dynamisierung bestehender Marktbeziehungen und andererseits die Stabilisierung neuer Marktbeziehungen involviert. Eine Arbeit, die Marktinnovation untersucht, stößt dabei unweigerlich auf die Frage, wie ein Bruch mit dem Alten entsteht, wo neue Ideen herkommen und wie sich Akteure in der unsicheren Situation von Innovationsprozessen orientieren. In jüngerer Zeit verweist die wirtschaftssoziologische Forschung auf die zentrale Bedeutung ‚imaginiertes Zukünfte‘ als Quelle von wirtschaftlicher Dynamik und als Orientierungsfaktor in Innovationsprozessen. Daher spezifiziere ich die Frage nach den Veränderungsprozessen in der

Ökonomie in Kapitel 2.3. im Hinblick auf die Rolle ‚imaginerter Zukünfte‘ in Märkten. Im Zentrum der Überlegung steht dabei einerseits die Krise als dynamisierende Situation, in der sich Zukunftsvorstellungen neu gestalten. Andererseits widme ich mich abschließend der Frage nach der Realisierung technologischer Visionen in neue Produkte und Marktbeziehungen.

2.1. Die soziale Strukturierung von Märkten

Aus soziologischer Perspektive sind die Existenz und das Funktionieren von Märkten keinesfalls selbstverständlich, sondern vielmehr höchst unwahrscheinlich. Bei Märkten handelt es sich um „hochgradig voraussetzungsvolle“ und „prekäre Arenen sozialen Handelns“ (Beckert 2007: 44f.), in denen die Akteure mit einem hohen Maß an Kontingenz und Unsicherheit bezüglich der Resultate ihres Handelns konfrontiert sind. Diese Unsicherheit speist sich aus drei Koordinationsproblemen, die die Akteure im Markttausch lösen müssen: Ungewissheit entsteht für Marktakteure erstens durch die Schwierigkeit, den Wert von Gütern zu bestimmen, zweitens durch den Wettbewerb und die dadurch verringerten Gewinnchancen für die einzelnen Produzenten und drittens durch die Risiken der Kooperation mit anderen Marktakteuren, deren Handlungsabsichten nicht vollständig bekannt sind (ebd.: 52ff.). Die Bildung stabiler Marktstrukturen setzt voraus, dass es Akteuren gelingt, den Wert von Marktobjekten zu bestimmen, den Wettbewerb zu reduzieren, und sich der Kooperationsbereitschaft anderer Marktakteure sicher zu werden. Ausgehend vom Problem der Unsicherheit stellt die Marktsoziologie daher die Frage nach den sozialen Möglichkeitsbedingungen von Markthandeln. Wie also gelingt es den Akteuren, die grundsätzliche Unsicherheit soweit zu reduzieren, dass sie die Risiken des Markthandelns eingehen (ebd.: 49)?

Die Antwort auf diese Frage finden Wirtschaftssoziologen in den sozialen Makrostrukturen, die das Handeln der Marktakteure prägen und die eine wechselseitige Handlungsorientierung ermöglichen. Die Erklärung dieser „sozialen Ordnung von Märkten“ identifiziert Jens Beckert als das „Kernproblem der Marktsoziologie“ (ebd.). Um die unterschiedlichen sozialen Ordnungsprozesse zu fassen, die Märkte strukturieren, hat sich das Konzept der *sozialen Einbettung* etabliert. Mit dem Verweis auf die Einbettung von Märkten soll „das Handeln von Marktakteuren im Zusammenhang mit den sozialstrukturellen, politischen und kulturellen Kontexten (...), in denen es stattfindet“ (Aspers und Beckert 2017: 225), in den Blick geraten. Da die Marktsoziologie unter dem Einfluss unterschiedlicher Forschungstraditionen steht, befassen sich Studien mit verschiedenen Formen der sozialen Einbettung, die durch Unsicherheitsreduktion zur Ausbildung stabiler Marktstrukturen beitragen. Idealtypisch lässt sich zwischen Beiträgen

unterscheiden, die die Einbettung von Märkten in soziale Netzwerkstrukturen, in Institutionen und in kulturell-kognitive Bedeutungsstrukturen untersuchen (Beckert 2007; 2010).⁴

Im Folgenden soll ein Überblick über die drei verschiedenen Formen der sozialen Einbettung das soziologische Verständnis von Märkten konkretisieren. Die unterschiedlichen Ansätze betonen jeweils ganz bestimmte Aspekte des Marktgeschehens und liefern damit theoretische Bausteine für die vorliegende Untersuchung. Während netzwerk- und institutionentheoretische Ansätze das grundlegende soziologische Verständnis von Märkten in dieser Arbeit prägen, liegt der Fokus auf der kultursoziologisch orientierten Perspektive, die Wertzuschreibungs- und Bewertungsprozesse als zentrale Mechanismen der Marktstrukturierung in den Mittelpunkt stellt.

2.1.1. Einbettung von Märkten in soziale Netzwerke

Im Zentrum der netzwerktheoretischen Perspektive auf Märkte stehen die konkreten sozialen Beziehungen der Marktakteure – also ihre Tausch-, Kommunikations- oder Beobachtungsbeziehungen – und deren Wirkung auf das Markthandeln. Grundlegend für die netzwerktheoretische Perspektive ist der Aufsatz *Where Do Markets Come From?* des Soziologen Harrison White (H. White 1981). White konzeptualisiert Märkte als soziale Strukturen weniger miteinander konkurrierender Produzenten, die sich gegenseitig ihre Marktposition signalisieren und sich so aneinander orientieren. Aus der Beobachtung dieser Signale leiten die jeweiligen Produzenten ihre eigenen Handlungsstrategien ab, um Nischen im gemeinsamen Markt zu besetzen und sich damit dem Wettbewerb zu entziehen. Ein Markt besteht somit aus einer „structure of roles with a differentiated niche for each firm“ (ebd.: 517). In ihren Nischen sind die jeweiligen Produzenten Monopolisten; ihre Produkte unterscheiden sich durch Qualität und Preis. Zwar orientieren sich die Produzenten auch an ihren Lieferanten oder Konsumenten, wenn sie ihre Marktstrategie entwickeln, aber der Fokus liegt auf der wechselseitigen Beobachtung der Konkurrenten untereinander.

Von Harrison White hat Mark Granovetter die Netzwerkperspektive auf Märkte übernommen. Granovetter untersucht vor allem die Austauschbeziehungen zwischen Anbietern und Nachfragern (Münnich 2017: 112). In seinem Aufsatz *Economic Action and Social Structure: The Problem of*

⁴ Die Unterteilung in unterschiedliche Einbettungsformen ist allerdings nicht vollkommen einheitlich. So unterscheiden Sharon Zukin und Paul DiMaggio beispielsweise zwischen sozialer, kultureller, politischer und kognitiver Einbettung (Zukin und DiMaggio 1990: 3).

Embeddedness grenzt er sich sowohl vom individualistischen Akteursverständnis der ökonomischen Wissenschaft als auch vom ‚übersozialisierten‘ Akteursverständnis der Soziologie von Talcott Parsons ab (Granovetter 1985: 485). Für Granovetter handeln Marktakteure weder aus Eigennutz und aufgrund ihrer endogenen Präferenzen noch aufgrund internalisierter gesellschaftlicher Normen und Werte. Vielmehr ist ökonomisches Handeln eingebettet „in concrete, ongoing systems of social relations“ (ebd.: 487). Die persönlichen Netzwerke, in denen Marktakteure handeln, können beispielsweise Vertrauen schaffen oder von Fehlverhalten abhalten und so dazu beitragen, das Kooperationsproblem unter den Tauschpartnern zu lösen.

Für die Analyse des Marktinnovationsprozesses in dieser Arbeit ist die netzwerktheoretische Perspektive insofern grundlegend, als sie zeigt, dass Märkte im Kern konkrete soziale Relationen sind. In der empirischen Wirklichkeit stehen sich die Marktakteure also nicht, wie in klassischen Modellen der ökonomischen Theorie, anonym gegenüber. Ich folge dieser soziologischen Perspektive darin, dass Märkte keine abstrakten Mechanismen sind, die Angebot und Nachfrage in ein Gleichgewicht bringen, sondern Beobachtungs- und Interaktionsverhältnisse, in denen Marktakteure sich in ihrem Handeln gegenseitig aufeinander beziehen. Allerdings hat die Ablehnung von Kultur, Werten und Ideen als Variablen soziologischer Marktanalysen, die vor allem bei Granovetter zu finden ist, auch zu einer kritischen Auseinandersetzung mit dem Netzwerkansatz innerhalb der Wirtschaftssoziologie geführt (Swedberg 2003: 268). Sowohl Neil Fligstein als auch Viviana Zelizer haben die reduktionistische Perspektive des Netzwerkansatzes, der sowohl die politische und institutionelle als auch die kulturelle Dimension von Märkten vernachlässigt, kritisiert (Fligstein 1996; Zelizer 1988). So schreibt Fligstein:

„Networks are at the core of markets to the degree that they reflect social relations between actors. The major limitation of the network approaches is that networks are sparse social structures, and it is difficult to see how they can account for what we observe in markets. Put another way, they contain no model of politics, no social preconditions for the economic institutions in question, and no way to conceptualize how actors construct their worlds“ (Fligstein 1996: 657).

Ich schließe mich der Argumentation von Fligstein und Zelizer an, die für ein umfassenderes soziologisches Marktmodell plädieren, das zwar auch die sozialen Beziehungen der Marktakteure in den Blick nimmt, aber ebenso die formell-institutionellen Voraussetzungen, die politischen Konflikte, die Rolle des Staates und die kulturell-kognitiven Bedeutungsstrukturen, die das Markthandeln prägen. Um die Entwicklung von Märkten für Biokunststoffe zu verstehen, können der Einfluss staatlicher Institutionen, die konflikthafter Aushandlungsprozesse um die

Ausgestaltung von Kunststoffmärkten und kulturell verankerte Wertbildungsprozesse nicht außer Acht gelassen werden. Wirtschaftssoziologische Studien mit einer institutionentheoretischen bzw. einer kultursoziologischen Fundierung erweitern und vertiefen das zunächst rein strukturalistisch gedachte Konzept der sozialen Einbettung von Märkten.

2.1.2. Einbettung von Märkten in Institutionen

Während die netzwerktheoretische Perspektive die konkreten sozialen Beziehungen der Marktakteure ins Zentrum rückt, betont der institutionentheoretische Ansatz ‚generelle Regeln‘ als einen zweiten Typus sozialer Beziehungen, der das Handeln von Marktakteuren strukturiert (Fligstein 2001: 10f.). Beiträge, die sich mit der institutionellen Einbettung von Märkten auseinandersetzen, finden sich in dem vom soziologischen Neo-Institutionalismus geprägten Strang der Wirtschaftssoziologie. Der Neo-Institutionalismus versteht Institutionen als kollektiv geteilte Regelsysteme, die bestimmte Handlungsoptionen begrenzen, während sie andere Handlungsoptionen privilegieren (DiMaggio und Powell 1991: 11). Grundsätzlich macht die Analyse von Institutionen deutlich, dass in Märkten nicht jede Handlung gleichermaßen möglich, wahrscheinlich oder legitim ist (Hasse und Krücken 1999: 53).

Als einer der prominentesten Vertreter des institutionentheoretischen Ansatzes in der Wirtschaftssoziologie hat Neil Fligstein ein Marktmodell entwickelt, das sowohl auf die Bedeutung formeller Institutionen wie Eigentumsrechte, Governance-Strukturen und Austauschregeln als auch auf die Bedeutung informeller Institutionen, die sogenannten ‚Kontrollkonzepte‘, für die Handlungskoordination in Märkten hinweist (Fligstein 2001: 32f.). Darunter versteht Fligstein marktweit geteilte und akzeptierte Vorstellungen über die interne Unternehmensorganisation, die Wettbewerbs- und Kooperationspraktiken und die Statusordnung unter den Produzenten (Fligstein 2001: 35). Während in netzwerktheoretischen Studien der Fokus auf den Beziehungen der eigentlichen Marktakteuren liegt, rückt mit Fligstein die Bedeutung des Staates als zentraler Drittakteur für die Konstitution von Märkten in den Vordergrund (ebd.: 11f.). Der Staat ist hier eine der wichtigsten formalen Regulationsinstanzen. Durch die Setzung von Marktregeln bestimmt der Staat mit, welche Akteure welche Produkte unter welchen Bedingungen handeln dürfen.

Um der institutionellen Einbettung von Märkten gerecht zu werden, konzipiert Fligstein Märkte nicht als Netzwerke von Konkurrenten oder Tauschpartnern, sondern als Felder (Fligstein 2001: 67f.). Darunter versteht er einen sozialen Raum, in dem sich die Produzenten gegenüberstehen, und

in dem ein Verständnis darüber herrscht, weshalb bestimmte Unternehmen dominieren (ebd.: 68). Felder umfassen die in hierarchischen Relationen zueinander stehenden Marktakteure, die staatlich gesetzten Regelwerke und die informellen Wissensbestände und Vorstellungen, die in einem Markt herrschen und das Handeln strukturieren. Nach Münnich entsprechen Märkte als Felder „eher dem, was man als Branche bezeichnen könnte: Zu den Produzenten kommen administrative Instanzen, Interessenverbände von Produzenten, Arbeitnehmern oder auch Konsumenten, Expertengruppen und -organisationen, wissenschaftsnahe Beobachter, spezialisierte Juristen und vieles mehr“ (Münnich 2017: 115).

Für die vorliegende Studie ist diese Perspektive auf Märkte insofern instruktiv, als sie über die Beziehungen zwischen den eigentlichen Marktteilnehmern hinaus, den Einfluss anderer Akteure, z. B. des Staates, auf die Konstitution von Märkten in den Blick nimmt. Noch wichtiger ist aber, dass Fligstein Märkte als umkämpfte soziale Relationen begreift. Für Soziologen in der feldtheoretischen Tradition sind Märkte durch einen Kampf um Kräfteverhältnisse gekennzeichnet, in dem sich etablierte Unternehmen (incumbents) und Herausforderer (challengers) gegenüberstehen und um die Dominanz im Feld ringen, d. h. um die Durchsetzung der von ihnen favorisierten Kontrollkonzepte (Fligstein 2001: 67f.). Diese Perspektive ist für die Analyse der umstrittenen Biokunststoffmärkte insofern fruchtbar, als sie die Konfliktdimension des Marktgeschehens wesentlich stärker in den Vordergrund rückt als es in netzwerktheoretischen Ansätzen der Fall ist. Sie macht deutlich, dass Märkte durch einen Kampf um Positionen und die Durchsetzung von bestimmten Vorstellungen über die Ausgestaltung von Märkten gekennzeichnet sind. Im Anschluss an Fligstein begreife ich Märkte in dieser Arbeit daher als „continuously conflictual and inherently political“ (Fligstein 2001: 15).

Für eine marktsoziologische Untersuchung, die sich damit beschäftigt, wie sich ökologische Produktqualitäten in Kunststoffmärkten etablieren, stößt Fligsteins Ansatz jedoch an Grenzen. Denn obwohl Fligstein mit dem Begriff des ‚Kontrollkonzepts‘ auch eine kulturell-kognitive Dimension in Märkten anspricht, bleibt die kulturelle Konstruktion von Gütern und Produktqualitäten in seinem Ansatz weitgehend unbeleuchtet. Zwar verweist Fligstein auf die Bedeutung von Eigentumsrechten. Wie Güter aber überhaupt ihre Werthaftigkeit erlangen, und wie dies mit gesellschaftlichen Wertvorstellungen zusammenhängt, die über die interne Kultur eines Marktes hinausgehen, wird nicht thematisiert. Weiterführend für die Untersuchung in dieser Arbeit

sind daher kultursoziologisch fundierte Ansätze, die sich explizit mit den Bedeutungen auseinandersetzen, die den auf Märkten gehandelten Objekten zugeschrieben werden.

2.1.3. Einbettung von Märkten in kognitiv-kulturelle Bedeutungsstrukturen

Die kultursoziologische Perspektive auf Märkte ist im Vergleich zu netzwerk- bzw. institutionentheoretischen Ansätzen in der Wirtschaftssoziologie weniger prominent. Dennoch haben sich in Auseinandersetzung mit angrenzenden Disziplinen wie der Forschung zu Kategorien im Bereich der *Organization Studies*, den *Valuation Studies* oder der französischen *Économie des Conventions*, produktive Perspektiven entwickelt, die den Blick schärfen für die Tatsache, dass Güter nicht nur materiell als Dinge produziert werden, sondern auch als *bestimmte* Dinge durch die Produktion von Bedeutung ‚kulturell markiert‘ werden (Kopytoff 1986: 64). Studien, die sich mit Prozessen des Kategorisierens, des Wertens und Bewertens und der Qualitätskonstruktion als konstitutive Mechanismen in Märkten beschäftigen, geben Einsicht in die kulturell-kognitive Konstruktion von Gütern. Sie sind anschlussfähig für die Frage danach, wie Dinge oder Tätigkeiten überhaupt zu wertvollen Marktobjekten werden und welchen Einfluss dabei makrokulturelle Wertvorstellungen haben (z. B. Beckert und Aspers 2011; Beckert und Musselin 2013; Durand, Granqvist und Tyllström 2017b; Fourcade 2012; Fourcade und Healy 2017; 2007; Hsu, Negro und Kocak 2010; Kjellberg et al. 2013; Lounsbury und Rao 2004; Spillman 1999; Thévenot, Moody und Lafaye 2000; Zelizer 1979).

Kultursoziologisch fundierte Ansätze betonen einerseits, dass eine gewisse kulturelle Übereinstimmung zwischen den Marktakteuren herrschen muss, damit sich stabile Marktbeziehungen ausbilden. Kultur wird verstanden als „*shared understandings and their representation in symbols and practices*“ (Zelizer 2011: 2, eigene Hervorhebung) oder „*shared cognitions, values, norms, and expressive symbols*“ (DiMaggio 1994: 27, eigene Hervorhebung). Am Beispiel spezieller Güter wie Lebensversicherungen, Bestattungen oder Organhandel haben wirtschaftssoziologische Studien beispielsweise den Einfluss gesellschaftlich geteilter Moralvorstellung auf das Markthandeln nachgewiesen. Ausgehend von Émile Durkheims Religionssoziologie machen sie deutlich, dass die Unterscheidung zwischen sakralen und profanen Dingen beeinflusst, ob diese überhaupt als legitime Waren gelten und als solche ausgetauscht werden bzw. wie ihr Austausch reguliert wird (Akyel 2013; Healy 2010; Zelizer 1979). Für eine kultursoziologisch orientierte Marktsoziologie ist der ökonomische Wert von Objekten und

Tätigkeiten somit untrennbar mit gesellschaftlichen Werten verknüpft. Ob Dinge und Tätigkeiten als wertvoll definiert werden, ist auch abhängig vom Kontext der gesellschaftlichen Wertigkeitsordnung.

Moralvorstellungen sind dabei nicht die einzigen geteilten Bedeutungsstrukturen, die das Markthandeln prägen. Kulturelle Bedeutungen sind nicht nur für die Frage nach der Integration bzw. Ausgrenzung von Gütern aus der Sphäre marktlicher Austauschbeziehungen relevant. Die Forschung zur Entstehung und zum Wandel von Kategorien in Märkten hat gezeigt, dass Klassifikationssysteme und die Einordnung von Objekten und Tätigkeiten in Produktkategorien *grundsätzlich* konstitutiv für das Handeln auch in moralisch nicht umstrittenen Märkten sind (Durand, Granqvist und Tyllström 2017b; Glynn und Navis 2013; Hsu, Negro und Kocak 2010; Khaire und Wadhvani 2010; Rosa et al. 1999; Zuckerman 1999). Produktkategorien sortieren unterschiedliche, aber ähnliche Elemente in Gruppen und tragen somit zur Steuerung unserer Wahrnehmung bei, indem sie die Aufmerksamkeit auf bestimmte Eigenschaften der kategorisierten Objekte lenken (Durand, Granqvist und Tyllström 2017a: 4). Kategorien operieren in Märkten also als ordnungsbildende kognitive Infrastrukturen, die Komplexität reduzieren, Grenzen definieren und damit Tauschobjekten und Marktakteuren Bedeutung verleihen. Durch Kategorisierungen versuchen Akteure auszuhandeln und zu verstehen, „[w]hat the market is about“ (Aspers 2009: 5). Dabei macht die Forschung zu Kategorien ebenfalls deutlich, dass Produktkategorien mit dem makrokulturellen Kontext, also den „broader cultural themes“ (Grodal und Kahl 2017: 160) in Bezug stehen, in dem sie sich entwickeln. Das heißt, Produktkategorien reflektieren häufig auch, was zu bestimmten Zeiten gesellschaftlich als wertvoll wahrgenommen wird.

Jens Beckert und Christine Musselin konzeptualisieren das Schaffen von Kategorien und die Zuordnung von Produkten zu diesen Kategorien als grundlegende Prozesse der Qualitätskonstruktion in Märkten (Beckert und Musselin 2013). Unter Qualität verstehen sie die „explicit and implicit, visible and invisible aspects of a good, service, or person being valued“ (ebd.: 1). Dabei beruht die Qualität von Gütern nicht auf natürlichen oder objektiv gegebenen Eigenschaften, sondern ist das Resultat von Qualifizierungsprozessen, durch die „products come to be seen as possessing certain traits and occupy specific positions in relation to other products in the product space“ (ebd.; Callon, Méadel und Rabeharisoa 2002: 199). So ist beispielsweise die Qualifizierung von Gütern als ‚ökologisch‘ nicht objektiv gegeben, sondern basiert auf sozialen

Konventionen und ist das Resultat von Aushandlungsprozessen und Testverfahren wie Ökobilanzen und Feldexperimenten.

Für Michel Callon und seine Co-Autoren bedeutet Qualifizierung, dass Güter singularisiert, also von anderen Gütern differenziert und in Relation zueinander positioniert werden. Durch Qualifizierung werden Güter auch mit bestimmten Bedeutungen aufgeladen, die eine Verbindung (attachment) zwischen Marktobjekten und Konsumenten schaffen (Callon, Méadel und Rabeharisoa 2002: 202). Dabei erlaubt die Untersuchung von Prozessen der Qualitätskonstruktion Einsicht in die Formierung von Wertigkeiten in Märkten. So ist die Klassifizierung und Kategorisierung von Gütern immer auch durchzogen von Prozessen des Wertens und Bewertens, in denen bestimmte Objekteigenschaften als wertvoll oder wertlos definiert und Objekte im Vergleich zu anderen Objekten und vor dem Hintergrund bestimmter Bewertungsprinzipien als besser oder schlechter beurteilt werden. Jede Kategorie wertet bestimmte Aspekte auf, während sie andere Aspekte ausblendet (Bowker und Star [1999] 2002: 5).

Aus der Perspektive der Wirtschaftssoziologie sind es allerdings nicht nur *geteilte* kulturelle Bedeutungen, die das Markthandeln strukturieren. Vielmehr betont die aktuelle wirtschaftssoziologische Forschung im Anschluss an die französische *Économie des Conventions* (EC) gerade die Pluralität und Konflikthaftigkeit von kollektiven Wertigkeitsordnungen (Diaz-Bone 2007; Suckert 2015). Einen in der Marktsoziologie besonders einflussreichen Ansatz haben Luc Boltanski und Laurent Thévenot in ihrem Buch *Über die Rechtfertigung* (Boltanski und Thévenot [1991] 2014) entwickelt. Mit Boltanski und Thévenot lassen sich Konventionen als „übergeordnete gemeinsame Prinzipien“ verstehen, die den Individuen als eine Art „politische Grundausrüstung“ (ebd.: 103) zur Verfügung stehen, wenn sie einen Streit ausfechten oder sich einigen. Konventionen sind „Sinnschemata, welche Sinnformen für ökonomische Handlungsabläufe, für die Einschätzung von zukünftigen Ereignissen und für die kollektive Bewältigung von Koordinationsproblemen zur Verfügung stellen“ (Diaz-Bone 2009: 177). Diese dem Handeln zugrunde liegenden kulturellen Bedeutungsstrukturen stellen Klassifikationssysteme bereit, mit denen Dinge, Tätigkeiten, Personen oder Organisationen bewertet und qualifiziert werden können (ebd.: 179).

Dabei werden Märkte aus der Perspektive der EC nicht nur von *einer* bestimmten Konvention dominiert. Vielmehr liegt der Fokus gerade auf der Koexistenz unterschiedlicher

Wertigkeitsordnungen (Boltanski und Thévenot [1991] 2014; Diaz-Bone 2009: 184f.). Güter können gemäß multipler Wertigkeitsordnungen qualifiziert werden, was sowohl zu Konflikten zwischen den Marktakteuren führen kann, aber auch Aushandlungsprozesse und Einigung möglich macht. Da Akteure über „Vernunft und Urteilskraft“ verfügen und in der Lage sind, „die Natur der jeweiligen Situation zu erkennen“, können sie geltende Konventionen kritisieren, aber auch „Kompromissfiguren“ (Boltanski und Thévenot [1991] 2014: 201, 394f.) zwischen unterschiedlichen Konventionen bilden. Dabei geht die EC jedoch über einen rein kulturalistischen Ansatz hinaus und betont neben Konventionen als Sinnschemata auch die Bedeutung materieller Objekte bei der Herstellung von sozialer Ordnung (ebd.: 24).⁵

Für die vorliegende Studie sind die Erkenntnisse der kultursoziologisch orientierten Marktsoziologie grundlegend. Sie ist insofern instruktiv, als sie deutlich macht, dass Märkte auf Wertzuschreibungen gründen, die in makrokulturellen Bedeutungsstrukturen verankert sind. Somit lenkt sie den Blick auf wertgenerierende Prozesse, durch die Dinge, Tätigkeiten oder Produkteigenschaften überhaupt ökonomische Relevanz erlangen. Außerdem macht sie deutlich, dass Produkte vor dem Hintergrund bestimmter Wertprinzipien eingruppiert und beurteilt werden. Damit rückt sie auch die Frage nach der Legitimation bzw. Delegitimation von Gütern in den Fokus.

Mit den erläuterten soziologischen Perspektiven lässt sich Einsicht in die soziale Strukturierung *bestehender* Märkte gewinnen. Die für die Untersuchung von Innovationsprozessen zentrale Frage nach der Veränderung von Märkten ist bis hierher noch nicht explizit behandelt worden. Der folgende Abschnitt widmet sich der Frage, wie sich Wandel und damit die Entstehung von Neuem wirtschaftssoziologisch fassen lässt. Aufbauend auf Ansätzen aus der Wirtschaftssoziologie und der Marketing-Management-Forschung konzeptualisiere ich die Veränderung von Märkten als doppelten Prozess von Dynamisierung und Stabilisierung.

2.2. Veränderungsprozesse in der Ökonomie

Richtet sich der Blick auf Veränderungsprozesse in der Ökonomie, dann lautet die zentrale Frage nicht mehr, wie soziale Ordnung in Märkten möglich ist, sondern wie Neues entsteht. Die

⁵ Der Einbezug materieller Objekte lässt sich auf den engen theoretischen Zusammenhang der Konventionentheorie von Luc Boltanski und dem Forschungsansatz der Akteur-Netzwerk-Theorie zurückführen (Guggenheim und Potthast 2012).

Entstehung von Neuem in der Wirtschaft kann einerseits die Konstruktion *vollkommen* neuer Märkte involvieren, bei denen Unternehmen Märkte für Produkte schaffen, die ein grundlegend neues Bedürfnis erfüllen (MacKenzie 2009) oder die aufgrund moralischer Bedenken zuvor von der Sphäre des Marktaushes ausgeschlossen waren (Zelizer 1979). Die meisten Märkte entstehen allerdings nicht *ex nihilo*: „New markets are born in close proximity to existing markets. (...) The differentiation and creation of new products is most frequently the spin-off of existing products“ (Fligstein 2001: 78). Aus der Perspektive der Kategorienforschung entstehen neue Märkte zum Beispiel dann, wenn Marktakteure neue Produkte und Dienstleistungen mit unvertrauten Eigenschaften von bestehenden Angeboten durch neue Kategorien abgrenzen (Rosa et al. 1999), oder wenn Kategoriensysteme in Märkten umgestaltet werden, sodass bereits existierende Güter reinterpretiert und neu bewertet werden (Khaire und Wadhvani 2010).

Häufig entwickeln sich neue Märkte, wie auch im Fall der Biokunststoffe, durch den Versuch, etablierte Märkte zu verändern, also bestehende Produkte durch Innovationen zu substituieren, Produkte zu requalifizieren und neue Wertprinzipien zu installieren. Wandel in der Ökonomie lässt sich in diesem Fall auch als „Marktinnovation“ (Kjellberg, Azimont und Reid 2015) beschreiben. Darunter verstehen Kjellberg und seine Co-Autoren (erfolgreiche) Versuche, die Art und Weise „in which business is done“ zu verändern (ebd.: 6). Dieser Definition von Marktinnovation liegt ein Marktverständnis zu Grunde, das Märkte grundlegend von ihrer Dynamik her begreift und die Vorstellung eines stabilen Kerns von Märkten in Frage stellt (ebd.: 5). Die Autoren grenzen sich damit von einem in der Marketingforschung herrschenden Marktverständnis ab, das Märkte als bereits vorhandene, zu erobernde Konsumentengruppen oder Regionen begreift, in denen ein Produkt neu vermarktet werden kann. Sie rücken dagegen im Anschluss an ein soziologisches Marktverständnis die aktive Produktion von Märkten in den Fokus (ebd.: 6). Märkte sind hier also den kontinuierlichen Transformationsversuchen von Akteuren ausgesetzt, die diese nach ihrem Interesse gestalten wollen. Michel Callon, auf dessen pragmatistische Marktsoziologie sich Kjellberg und seine Mitautoren maßgeblich beziehen, bringt diesen Gedanken zum Ausdruck, wenn er schreibt: „Innovation is simply another name for the process of transformation and reconfiguration of markets“ (...) (reframing products, agencies, encounters etc.)“ (Callon 2010: 227).

Innovationen können dabei sowohl die Marktstruktur, das legitime Verhalten, die Marktakteure oder die Marktobjekte betreffen. Die Schaffung von Märkten für „nachhaltige Mode“ (Schiller-

Merkens 2013), „saubere Technologien“ (Doganova und Karnøe 2015), „nachhaltigen Kaffee“ (Onyas und Ryan 2015) oder „ökologische Molkereiprodukte“ (Suckert 2015) sind Beispiele für Marktentstehungsprozesse, in denen bestehende Märkte durch technologische Innovationen, neue Wertschöpfungsketten oder neue Wertprinzipien verändert wurden, und dadurch gleichsam neue Märkte entstanden sind, die sich in wesentlichen Aspekten von den bestehenden unterscheiden. Nicht nur durch die Schaffung vollkommen neuer Märkte, sondern auch durch die Einführung neuer Geschäftsmodelle, neuer Produktkategorien oder neuer Wertprinzipien wird also Veränderung in der Ökonomie erzeugt und Neues hervorgebracht (Kjellberg, Azimont und Reid 2015). Dieser Perspektive auf Marktinnovationsprozesse schließe ich mich an und begreife die Entwicklung und Vermarktung von Biokunststoffen als Versuch, etablierte Kunststoffmärkte durch die Einführung neuer Technologien mit ökologischem Qualitätsanspruch zu verändern. Wie lassen sich solche Marktinnovationsprozesse soziologisch analysieren?

Marktinnovation als doppelter Prozess: Dynamisierung und Stabilisierung

Im Folgenden schlage ich vor, Marktinnovation als doppelten Prozess zu analysieren. Einerseits wirft die Untersuchung von Wandlungsprozessen in der Ökonomie die Frage auf, wie es überhaupt zur Entstehung neuer Ideen kommt. Wie also kommt Neues in die Welt? Andererseits wirft die Untersuchung von Veränderung aber auch die Frage auf, wie sich Neues angesichts konkurrierender Interessen durchsetzt und institutionalisiert. Marktinnovationsprozesse involvieren aus dieser Perspektive sowohl die Dynamisierung bestehender Marktbeziehungen als auch die Stabilisierung neuer Marktbeziehungen. Die Untersuchung von Marktinnovationsprozessen sollte dementsprechend einerseits den Fokus auf transformative Momente und Handlungen – also auf die dynamisierenden Faktoren in Märkten – legen, andererseits aber auch die verfestigenden Momente und Handlungen in den Blick nehmen, durch die sich Neues institutionalisiert. Im Anschluss an bestehende Literatur werde ich im Folgenden beide Dimensionen von Veränderungsprozessen in der Ökonomie näher erläutern.

Dynamisierende Faktoren: Wie kommt Neues in die Welt?

Ogleich mit dem Konzept der Einbettung eine eher statische Perspektive auf Märkte entworfen wird, betonen Autoren in der Wirtschaftssoziologie, dass es sich bei Märkten, empirisch betrachtet, um dynamische soziale Formationen handelt (Beckert 2007; 2010). Dynamik in Märkten wird dabei in den drei idealtypischen sozialen Einbettungsstrukturen – Netzwerke, Institutionen, Kultur

– verortet. Netzwerktheoretische Ansätze befassen sich mit dem Einfluss der Netzwerkstruktur auf die Entstehung von Neuem in der Ökonomie (Powell und Grodal 2005). Ronald Burt etwa hat gezeigt, dass die Überbrückung ‚struktureller Löcher‘ zwischen verschiedenen Netzwerken Zugang zu neuen Ideen verschafft: „[B]rokerage reveals conditions and possibilities not otherwise visible. It exposes you to variation; variation in your own work, and variation in related kinds of work“ (Burt 2005: 90). Eine zentrale Erkenntnis netzwerktheoretischer Ansätze ist, das Neues durch Rekombinationen verschiedener Elemente entsteht. So argumentieren John Padgett und Walter Powell, dass neue Märkte durch die Rekombination von Elementen aus unterschiedlichen bereits vorhandenen sozialen Netzwerkstrukturen aus dem Bereich der Ökonomie, der Politik, der Verwandtschaftsbeziehungen, der Religion oder der Wissenschaft entstehen. Rekombination meint dann, dass Beziehungen von einem sozialen Bereich in einen anderen übertragen werden bzw. bestehende soziale Netzwerke neu ‚zusammengefaltet‘ werden (Padgett und Powell 2012: 12).

Institutionentheoretische Ansätze betonen vor allem das aktive und strategische Handeln ‚institutioneller Unternehmer‘, die etablierte Marktinstitutionen destabilisieren und neue Ideen hervorbringen (Garud, Hardy und Maguire 2007). Institutionelle Unternehmer zeichnen sich durch die Fähigkeit aus, mit dominanten Regeln und Praktiken zu brechen, kontrafaktische Möglichkeiten zu imaginieren und andere Akteure zur Kooperation zu mobilisieren (ebd.: 962). Autoren, die Wirtschaftssoziologie und soziale Bewegungsforschung miteinander verknüpfen, haben deutlich gemacht, dass auch soziale Bewegungen zu den institutionellen Unternehmern gehören, die auf destruktive Effekte von Produkten hinweisen und durch Mobilisierung und Legitimierung von Innovationen zur Dynamik von Märkten beitragen (B. King und Pearce 2010).

In kultursoziologisch fundierten Ansätzen wird die Entstehung von Neuem auf kulturellen Wandel zurückgeführt, durch den sich die kulturelle Bedeutung von Objekten und Tätigkeiten verändert. Beispielsweise konnten Märkte für Lebensversicherungen oder Beerdigungen erst dann entstehen als sich Moralvorstellungen bezüglich der Ökonomisierung von Leben und Tod veränderten (Akyel 2013; Zelizer 1979). Ebenso lässt sich auch der Markt für touristische Walbeobachtungen auf den Wandel der kulturellen Bedeutung von Walen zurückführen, der den kommerziellen Walfang destabilisierte und die Entstehung der kommerziellen Walbeobachtung ermöglichte (Lawrence und Phillips 2004).

Autoren in der Theorietradition der *Économie des Conventions* haben die Dissonanz zwischen unterschiedlichen Wertigkeitsordnungen als Momentum für Dynamik in den Fokus gerückt. David Stark betont etwa, dass gerade die Überschneidung verschiedener interpretativer Rahmen Unsicherheit schafft und die Möglichkeit für unternehmerisches Handeln und Innovation öffnet (Stark 2009). Luc Boltanski und Laurent Thévenot rücken ebenfalls kontroverse Situationen in den Mittelpunkt, in denen Akteure ein bestehendes Wertprinzipien herausfordern und sich dabei auf eine neues Wertprinzip berufen. Sie sprechen in diesem Fall auch von „Anprangerung“ (Boltanski und Thévenot [1991] 2014: 299). Für die Analyse wirtschaftlicher Dynamik bedeutet dies, die empirische Forschung gerade auf solche ambivalenten Situationen zu richten, in denen bestimmte Wertprinzipien miteinander in Konflikt geraten (ebd.: 34). Kontroversen über geltende Wertprinzipien können dazu führen, dass Forderungen nach der Reorientierung von Innovationsprozessen und letztlich nach der Reorganisation von Märkten laut werden (Callon 2010: 231).

Um der Multidimensionalität der sozialen Strukturierung von Märkten gerecht zu werden, hat Jens Beckert den Blick auf die Interaktionen zwischen den unterschiedlichen Makrostrukturen und ihren Veränderungen gerichtet (Beckert 2010). Er macht deutlich, dass strukturelle Veränderungen, z. B. der Wandel der kulturellen Bedeutung von Gütern oder der gesetzlichen Regulation von Märkten, und die Handlungsmacht von Akteuren wechselseitig aufeinander bezogen sind. So können Veränderungen auf der Ebene der Strukturen dazu führen, dass sich Marktbeziehungen zwischen Akteuren soweit verändern, dass sich Handlungsressourcen in Märkten verschieben. Verändert sich die strukturelle, institutionelle oder kulturelle Einbettung von Märkten, gewinnen einige Akteure neue Ressourcen, die sie dazu einsetzen können, um weitere Makrostrukturen zu verändern, während andere Akteure in ihrem Handeln blockiert werden (ebd.: 608). Dynamik in Märkten, so lässt sich zusammenfassen, entsteht dann durch ein Zusammenspiel zwischen Strukturveränderung, daraus entstehenden neuen Handlungsoptionen und schließlich dem strategischen Handeln der Akteure.

Wie stabilisiert sich das Neue?

Neben den transformativen Prozessen macht die marktsoziologische Literatur deutlich, dass sowohl die Schaffung vollkommen neuer Märkte als auch die Rekonfiguration von Märkten durch Innovationen immer auch die Stabilisierung neuer Marktbeziehungen involviert (Aspers 2015;

Fligstein 2001; Kjellberg, Azimont und Reid 2015). Angesichts der zum Teil konflikthaften Versuche, Märkte nach den Interessen der unterschiedlichen Marktakteure zu gestalten, stellt sich immer auch die Frage, wie sich das Neue verfestigt. Märkte sind das Ergebnis von ‚Institutionalisierungsprojekten‘ (Fligstein 2001: 77). Wenn sich neue Märkte formieren, entstehen Zonen der Unsicherheit, in denen meist weder die Qualitäten der neuen Produkte, die Produktkategorien oder die Wettbewerbsstrukturen eindeutig sind: „As markets are formed or invaded and transformed, no one player has power and who will survive is up for grabs“ (ebd.: 89). Erst durch eine wechselseitige Anpassung von Unternehmen oder durch das gezielte Eingreifen des Staates wird ausgehandelt bzw. bestimmt, was auf neuen Märkten ausgetauscht wird und welche Regeln dort herrschen (Aspers 2015: 142ff.). Stabilisierungsprozesse finden dabei auf unterschiedlichen Ebenen statt.

Studien, die die kognitive Dimension der Stabilisierung in den Vordergrund stellen, finden sich vor allem in der Literatur zur Entstehung neuer Produktkategorien. In ihrer Untersuchung zur Entstehung eines Marktsegments für „Minivans“ zeigen Rosa und seine Co-Autoren, wie sich durch die Interaktionen zwischen Produzenten und Konsumenten aus unterschiedlichen Labels und Produktstandards im Laufe der Zeit die genaue Definition von Minivans stabilisierte (Rosa et al. 1999). Die Literatur zur Entstehung von Industrien hat gezeigt, dass die Stabilisierung neuer Kategorien *Legitimierungsprozesse* involviert, in denen Produzenten die Werteigenschaften neuer Produkte präsentieren und Konsumenten, Marktanalysten, Journalisten oder Investoren das Neue als glaubhaft, angemessen und legitim bewerten (Kennedy 2008; Navis und Glynn 2010).

Während die Forschung zur Entstehung neuer Kategorien primär auf die Analyse eines kognitiven Stabilisierungsprozess abzielt, weisen Autoren in der Theorietradition der Akteur-Netzwerk-Theorie auf die materiell-technische Dimension des Stabilisierungsprozesses hin. Demnach sind Märkte nicht bloß soziale oder kognitive Strukturen, sondern „socio-technical arrangements“ (Çalışkan und Callon 2010: 3), also heterogene Netzwerke aus menschlichen und nicht-menschlichen Elementen. Jeder Prozess der Stabilisierung solcher Marktarrangements involviert ein „framing“, durch das festgelegt wird, welche Qualitäten bei der Bewertung von Gütern miteinbezogen werden und welche notwendigerweise unbeachtet bleiben (Callon 1998). Diese Stabilisierung lässt sich als mehrstufiger Prozess der Übersetzung analysieren, von einer anfänglichen Problematisierung, über den Entwurf eines neuen Marktarrangements und die Mobilisierung weiterer Akteure bis hin zur Etablierung eines neuen Netzwerks fester Beziehungen

zwischen menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren (Callon 1984). Dabei meint Stabilisierung hier nicht mehr nur die Verfestigung kognitiver Strukturen oder die Institutionalisierung formeller oder informeller Regeln. Vielmehr involviert die Schaffung von Märkten auch den Aufbau materiell-technischer Infrastrukturen.

In jüngerer Zeit hat sich am Schnittpunkt von Marktsoziologie und Marketing-Management-Forschung eine Auseinandersetzung mit Marktinnovationen etabliert, die den Fokus auf Stabilisierungsprozesse richtet (Doganova und Karnøe 2015; Kjellberg, Azimont und Reid 2015; Vargo, Wieland und Akaka 2015). Stabilisierung meint hier sowohl die Verfestigung eines begrenzten Netzwerks von Käufern, Verkäufern und Tauschobjekten als auch die Routinisierung eines bestimmten Verhaltens – also z. B. die Bestimmung der Bewertungskriterien, nach denen neue Produkte bewertet werden. Als ‚Mittel‘ zur Stabilisierung neuer Märkte verweisen die Autoren auf die Institutionalisierung von Normen und Regeln, z. B. durch Standards und Zertifizierung oder die Beeinflussung staatlicher Regulation, den Aufbau technischer Infrastrukturen und „market devices“, die Verbreitung von Bildern, Modellen und Repräsentationen des anvisierten Marktes und das *Enactment* von Handlungen und Routinen (Kjellberg, Azimont und Reid 2015: 9f.).

Trotz der analytischen Ausrichtung auf Stabilisierungsprozesse zeichnet sich die Auseinandersetzung mit Marktinnovationen in diesem Strang der Forschung dadurch aus, dass sie das Wechselspiel zwischen Dynamisierung und Stabilisierung explizit in das Theoriegebäude integriert. Märkte befinden sich aus dieser Perspektive in einem fortlaufenden Prozess des Erschaffens (ebd.: 5). Mit der Metapher der ‚Plastizität‘ tragen die Autoren der Tatsache Rechnung, dass Märkte über die Fähigkeit verfügen, einerseits neue Formen anzunehmen und andererseits über eine gewisse Zeit ihre Form zu behalten (Nenonen et al. 2014). Daher machen sie deutlich, dass Stabilisierungsversuche immer auch auf Probleme und Widerstände stoßen können, und damit prekär und niemals vollständig abgeschlossen sind. Grenzen sind der Stabilisierung z. B. durch die Existenz konkurrierender Akteure mit unterschiedlichen „political projects“ (Kjellberg, Azimont und Reid 2015: 11), also unterschiedlichen Vorstellungen über die Neugestaltung von Märkten, gesetzt.

2.3. Imaginierte Zukünfte und wirtschaftliche Dynamik

In der Auseinandersetzung mit der Veränderung von Märkten fehlt allerdings bislang ein wichtiger Aspekt, der erst in jüngerer Zeit in den Fokus der wirtschaftssoziologischen Forschung gerückt ist: der Einfluss ‚imaginierte Zukünfte‘ auf das Handeln ökonomischer Akteure (Beckert 2016; 2013). Denn aus handlungstheoretischer Perspektive lässt sich argumentieren, dass die Dynamik der Wirtschaft und damit die Veränderung von Märkten durch Innovationen auf der Fähigkeit der Marktakteure gründet, „Neues zu imaginieren und auf der Basis dieser Vorstellungen routinisierte Handlungsabläufe zu verlassen“ (Beckert 2007: 59). Diese Überlegung rückt den Zusammenhang von Zukunftsvorstellungen und wirtschaftlicher Dynamik in den Mittelpunkt. Um diesen Zusammenhang für die Analyse von Marktinnovationsprozessen fruchtbar zu machen, rekapituliere ich im Folgenden die bestehende wirtschaftswissenschaftliche, techniksoziologische und wirtschaftssoziologische Literatur zur Bedeutung ‚imaginierte Zukünfte‘ für die Dynamik von Märkten. Im Anschluss daran entwickle ich ausgehend von pragmatistischen Theorieansätzen ein Analysemodell, das einerseits die Krise als transformative Situation beschreibt, in der sich Erwartungen an die Zukunft verändern, und das andererseits die Realisierungsversuche technologischer Visionen in den Blick nimmt.

2.3.1. Der Markt als kreativer Prozess

Wirtschaftswissenschaftliche Arbeiten, die sich in Abgrenzung zum neoklassischen Gleichgewichtsparadigma mit dem Markt als kreativem Prozess befassen, liefern erste Hinweise auf den Zusammenhang von Innovation und Imagination. So hat in den Wirtschaftswissenschaften Joseph Schumpeter bereits früh betont hat, dass es sich bei der kapitalistischen Wirtschaft nicht um ein statisches Konstrukt, sondern grundlegend um einen dynamischen, evolutionären Prozess handelt, der im Kern aus der ständigen „schöpferischen Zerstörung“ (Schumpeter 1942: 81ff.) etablierter Märkte durch Innovationen besteht. Dabei führt Schumpeter die fortwährende Erneuerung der Wirtschaft keinesfalls auf rationale Entscheidungen zurück. Vielmehr betont er, dass die Entstehung von Neuem aus kreativen Prozessen resultiert, in denen Unternehmerpersönlichkeiten aus den gewohnten Bahnen ausbrechen und Pläne verfolgen, die gerade nicht über die „scharfrandige Realität der Vorstellungen von Dingen, die wir gesehen und durchlebt haben“ verfügen, sondern nur „eine Vorstellung von Vorgestelltem“ (Schumpeter [1934] 1987: 124) sind. In ähnlicher Weise haben in der Folge auch andere Wirtschaftswissenschaftler wie George Shackle oder James Buchanan und Viktor Vanberg die Bedeutung von Kreativität und

Imagination als Quelle von Dynamik in der Ökonomie hervorgehoben (Beckert 2016: 174; für eine Übersicht siehe auch Bronk 2009: 207ff.).

George Shackle befasst sich in seinen Arbeiten insbesondere mit der Frage nach Entscheidungen unter der Bedingung fundamentaler Unsicherheit (Shackle 1969; [1972] 2009). Dabei gründet seine Theorie wirtschaftlicher Entscheidungen maßgeblich auf zeitphilosophischen Überlegungen (Carvalho 1983). So kritisiert Shackle die neoklassische Wirtschaftswissenschaft für ihre zeitvergessene Annahme, dass wirtschaftliche Subjekte beim Treffen von Entscheidungen theoretisch über alle Aspekte und Konsequenzen ihrer Entscheidung Wissen erlangen könnten. Dagegen setzt er die Überlegung, dass die Zukunft (und damit die Auswirkung einer Entscheidung) niemals objektiv gegeben, sondern immer erst in Abhängigkeit von Entscheidungen und Handlungen geschaffen wird (Shackle [1972] 2009: 3f.). Da also die Zukunft zum Zeitpunkt der Entscheidung nur als Imagination in der Gegenwart existiert, können wirtschaftliche Akteure niemals über ein vollständiges Wissen hinsichtlich der Konsequenzen ihrer Entscheidungen verfügen. Ihre Entscheidungen, beispielsweise in Innovationsprozessen, können daher niemals vollkommen rational sein:

„The paradox of rationality is that it must concern itself with choosing amongst things fully known: but in the world of time, only this is fully known which is already beyond the reach of choice, having already become actual and thus knowable. Rational choice, it seems, must be confined to timeless matters“ (ebd.: 246).

Entscheidungen gründen dann weniger auf der Kalkulation objektiver, *ex ante* erfahrbarer Konsequenzen, sondern sind immer eine Wahl zwischen ‚mentalenen Konstrukten‘ (Shackle 1969: 272) in der Vorstellungswelt der Akteure: „Choice amongst outcomes takes place in the individual’s imagination. All the qualities these outcomes can display, all the pressure or attraction they can exert on his mind, are by virtue imagined qualities and powers“ (ebd.: 9). Durch Imagination entwerfen Akteure unterschiedliche mögliche Zukünfte, die allerdings nicht vollkommen unbegrenzt, also bloße ‚Fiktionen, Fantasien oder Tagträume‘ (ebd.: 11) sind. Vielmehr nutzen ökonomische Akteure ihr Wissen und ihre Erfahrungen, um die Plausibilität und Wahrscheinlichkeit der verschiedenen imaginierten Zukünfte abzuwägen und so zu einer Entscheidung zu kommen.

Ähnlich wie Schumpeter oder Shackle setzen auch die Ökonomen James Buchanan und Viktor Vanberg dem neoklassischen Gleichgewichtsparadigma das Konzept eines durch die Kreativität

der Akteure vorangetriebenen Marktevolutionsprozesses entgegen (Buchanan und Vanberg 1991; Vanberg 2005). Dazu bringen sie die subjektivistische Wirtschaftsphilosophie von Shackle in Dialog mit den neueren physikalischen Theorien von Ilya Prigogine und Isabella Stengers zur Selbstorganisation und Evolution offener Systeme. Den Naturwissenschaftlern Prigogine und Stenger geht es um eine Neuausrichtung der Physik, von einer Theorie deterministischer, reversibler, gleichgewichtsorientierter Prozesse hin zu einer Theorie nicht-linearer, irreversibler, evolutiver Prozesse (Vanberg 2005: 18f.). Dabei sind ihre Überlegungen noch bedeutsamer, wenn nicht natürliche, sondern soziale Prozesse betrachtet werden, die von den Entscheidungen menschlicher Akteure abhängen. So schreibt Prigogine: „Instead of seeing human systems in terms of ‘equilibrium’ or as a ‘mechanism’, we see a creative world of imperfect information and shifting values, in which different futures can be envisaged“ (zit. in: ebd.: 20). Diese Überlegungen zur Unbestimmtheit und Zukunftsoffenheit nicht-linearer Systeme übertragen die Ökonomen auf das Marktgeschehen. Anstatt den Markt als Mechanismus zur Allokation von Gütern oder als Mechanismus zur ‚Entdeckung‘ bereits existierender Möglichkeiten zu konzeptualisieren, argumentieren sie dafür, den Markt als ‚kreativen Prozesses‘ zu verstehen. Der Markt entwickelt sich demnach durch die Imagination und Entwicklung neuer, potentiell wertvoller Güter, in eine offene Zukunft hinein.

Für die Frage nach der Dynamik von Märkten machen die wirtschaftswissenschaftlichen Arbeiten deutlich, dass es Imaginationen von der Zukunft sind, die es Marktakteuren erlauben, aus etablierten Denkmustern und Kategorien auszubrechen, konzeptionelle Sprünge zu vollziehen, und die Gegebenheiten der realen Welt hinter sich zu lassen (Bronk 2009: 201). Gleichzeitig dient die Imagination von Zukünften dazu, neue Hypothesen zu entwerfen und neue Verbindungen zu knüpfen. Imaginierte Zukünfte sind demnach subversiv und destabilisierend gegenüber etablierten Marktordnungen und gleichzeitig kreativ im Sinne der Erschaffung neuer Welten (ebd.).

2.3.2. Performativität (sozio-)technischer Visionen

Während sich Wirtschaftswissenschaftler wie Shackle, Vanberg und Buchanan in kritischer Auseinandersetzung mit dem neoklassischen Gleichgewichtsparadigma vor allem *konzeptionell* mit der dynamisierenden Kraft menschlicher Kreativität befassen, hat sich innerhalb der Wissenschafts- und Technikforschung unter der Überschrift der *Soziologie der Erwartungen* ein *empirisches* Forschungsfeld etabliert, das den Fokus auf die soziale Funktion imaginiertes

Zukünfte in technologischen Entwicklungsprozessen richtet (Borup et al. 2006; Brown, Rappert und Webster 2000; Konrad et al. 2016; van Lente 1993). Beide Literaturstränge eint, dass Entscheiden und Handeln hier nicht aus der Gegenwart oder der Vergangenheit, sondern aus den Vorstellungen über die Zukunft erklärt wird. Allerdings geht es der Wissenschafts- und Technikforschung weniger um die Betonung der imaginativen-kreativen Fähigkeiten des einzelnen Unternehmers, sondern um die Frage, wie technologische Erwartungen und Visionen als kognitive Rahmen die Handlungen von Akteuren in technologischen Innovationsprozessen orientieren.

Technologische Erwartungen definieren die Wissenschafts- und Technikforscher als „real-time representations of future technological situations and capabilities“ (Borup et al. 2006: 286), die in mehr oder weniger öffentlichen Statements geäußert werden und daher nicht bloß im kreativen Geist eines Unternehmers oder Wissenschaftlers verortet sind, sondern als Teil des ‚kollektiven Bewusstseins‘ (Konrad et al. 2016: 466) existieren. Häufig handelt es sich dabei um Aussagen über technologische Zukünfte, die positiv als Versprechen oder negativ als Warnungen ausgesprochen werden (ebd.: 467). Allerdings verstehen die Autoren solche technologischen Erwartungen nicht nur als Repräsentationen imaginierten technologischer Zukünfte. Vielmehr gelten sie als „forceful fiction[s]“ (van Lente und Rip 1998: 217), die von Wissenschaftlern und Technikern strategisch dazu eingesetzt werden, um technologische Innovationen zu legitimieren und voranzutreiben.

Technologische Erwartungen sind insofern performativ, als es sich um Aussagen handelt, die über Handlungsmacht verfügen, die also ‚etwas tun‘ (van Lente 2012: 772). So generiert die Kommunikation technologischer Erwartungen Aufmerksamkeit für neue Technologien, sie legitimiert Investitionen in Innovationsprozesse, schafft geschützte Räume, in denen sich neue Technologien entwickeln können, mobilisiert Unterstützer und entwirft bestimmte Handlungsskripte, die Rollen im Innovationsprozess bestimmen und damit Handlungsabläufe vorzeichnen (Borup et al. 2006: 285f.). Van Lente veranschaulicht beispielsweise, wie die anfängliche Kommunikation eher vager technologischer Versprechen zu konkreten Verpflichtungen führen kann, die dann von Wissenschaftlern, Ingenieuren und Unternehmen auch erfüllt werden müssen. Aus dieser Perspektive werden Innovationen in einem sogenannten „promise-requirement-cycle“ (van Lente 1993: 198) vorangetrieben. Bei der Frage, wie Erwartungen diese performative Kraft entfalten, wird der Bezug der Soziologie der Erwartungen zum Theorieangebot der Akteur-Netzwerk-Theorie deutlich (Latour 2005). Erwartungen zeichnen Realitätseffekte, weil sie Allianzen zwischen heterogenen Akteuren mobilisieren, Rollen,

Aufgaben und gemeinsame Absichten definieren. Auf basaler Ebene schaffen Erwartungen also ein zunehmend stabileres Beziehungsnetz zwischen Akteuren (Borup et al. 2006; van Lente und Rip 1998). Van Lente spricht hier von „linkage and alignment“ (van Lente 1993: 212) durch Erwartungskommunikation, und Pierre-Benoît Joly konzeptualisiert Erwartungen und Versprechen im Anschluss an Callon als Elemente des Übersetzungsprozesses:

„[I]nnovation processes rely on the coordination of heterogeneous actors. This requires defining identities of actors (what they do, the problems they face, etc.) in such a way that it creates an ‘obligatory passage point’, making the ties between the actors – at least temporarily – irreversible. Speculative claims, expectations and promises are some of actions by which an entity attempts to impose and stabilize the identity of other actors. They guide activities and define roles, provide legitimization, and attract interest and credit. Hence, promises can be considered as an important part of the translation process“ (Joly 2010: 8).

Steht also bei den Wirtschaftswissenschaftlern primär die disruptive Funktion und transformative Kraft der menschlichen Imagination im Vordergrund, zielen die Wissenschafts- und Technikforscher auf die koordinative, orientierungsstiftende Funktion von kommunizierten Erwartungen ab. Es geht ihnen darum zu verstehen, wie Erwartungen zur Stabilisierung neu entstehender Technologien beitragen.

Auch bei Sheila Jasanoff und Sang-Hyun Kim geht es um die performative Wirkung von Zukunftsvisionen (Jasanoff und Kim 2009; 2015). Während sich Autoren im Feld der Soziologie der Erwartungen primär mit der technologischen Erwartungskommunikation zwischen Wissenschaftlern und Ingenieuren auf der Mikroebene auseinandersetzen, rücken sie auf der Makroebene angesiedelte „sociotechnical imaginaries“ in den Fokus. Unter „sociotechnical imaginaries“ fassen sie institutionalisierte semiotische Ensembles, die sowohl auf Unternehmens-, Staats- oder transnationaler Organisationsebene das Handeln der Akteure orientieren. Solche Vorstellungswelten sind „collectively held, institutionally stabilized and publicly performed“ (Jasanoff 2015: 4). In Form staatlicher Politikmaßnahmen oder privatwirtschaftlicher Unternehmensstrategien leiten sie Forschungs- und Wirtschaftspolitik an und bestimmen somit auch die Ausrichtung von Innovationsprozessen.

Damit erweitert das Konzept des „sociotechnical imaginaries“ die Studien zur Erwartungskommunikation in technologischen Innovationsprozessen. Zum einen werden spezifische technologische Erwartungen kontextualisiert. So machen Jasanoff und Kim deutlich, dass technologische Visionen meistens verknüpft sind mit einer bestimmten Idealvorstellung des gesellschaftlichen Zusammenlebens. „Sociotechnical imaginaries“ sind keine rein technischen

Vorstellungen, sondern stellen die ‚imaginativen Ressourcen‘ (Jasanoff und Kim 2009: 141) dar, die technologiepolitische Maßnahmen an das anbinden, was in einer Gesellschaft als wertvoll und erstrebenswert gilt (ebd.: 122f.). Das Imaginäre fungiert dann als eine Art übergeordneter Orientierungsrahmen – ähnlich einem „master narrative“ (Jasanoff 2015: 20) –, der unterschiedliche gesellschaftliche Bereiche miteinander verbindet. Zudem betonen die Autoren die Rolle des Staates bei der Konstruktion von imaginierten Zukünften (Jasanoff und Kim 2009: 120). Der Staat spielt eine aktive Rolle bei der Definition nationaler Innovationsziele und bei der Finanzierung bestimmter Innovationsbereiche. Das Konzept der „sociotechnical Imaginaries“ lässt sich damit auch an marktsoziologische Arbeiten rückbinden, die die Rolle des Staates bei der Formierung und Strukturierung von Märkten in den Fokus rücken (Fligstein 2001).

2.3.3. Fiktionale Erwartungen in der Wirtschaftssoziologie

Während die Bedeutung imaginierter Zukünfte in wirtschaftlichen Prozessen in den Wirtschaftswissenschaften und der Soziologie der Erwartungen seit längerem thematisiert wird, rekurren Wirtschaftssoziologen bislang vor allem auf gegenwärtige oder aus der Vergangenheit gewachsene institutionelle, kulturelle oder soziale Strukturen. „[H]istory matters“ (Beckert 2016: 3), so fasst Jens Beckert die Tendenz zusammen, die sowohl im historischen als auch im soziologischen Institutionalismus die Analyse wirtschaftlicher Prozesse kennzeichnet. Ähnlich werden auch in kultursoziologischen Analysen von Märkten primär in vergangenen Erfahrungen oder Diskursen verwurzelte Konventionen oder habituelle Dispositionen zur Erklärung wirtschaftlichen Handelns herangezogen. Mit den Arbeiten von Beckert rückt die Bedeutung von Vorstellungen über die Zukunft als Sinnressource wirtschaftlichen Handelns aber auch in der Wirtschaftssoziologie zunehmend in den Fokus der Forschung.

Die Zukunftsorientierung der Akteure in der kapitalistischen Ökonomie konzeptualisiert Beckert als „fictional expectations“ (Beckert 2016: 9). Damit verweist er ähnlich wie Shackle auf die Grenzen der rationalen Entscheidungstheorie, die der fundamentalen Unsicherheit von in die Zukunft gerichteten Entscheidungen nicht gerecht wird. ‚Fiktionale Erwartungen‘ sind „imaginaries of future states of the world and of causal relations that inform actors’ decisions“ (ebd.: 62). Nimmt man die Unbestimmtheit und Unergründbarkeit des Zukünftigen ernst, dann basieren wirtschaftliche Entscheidungen auf Vorstellungen zukünftiger Zustände der Welt, die den Akteuren als interpretative Rahmen dienen, um gegenwärtige Situationen einzuschätzen.

„Fiktionale Erwartungen“ sind also „‘placeholders’ (...) in the decision-making process, used to help actors momentarily *overlook* the unknowability of future states of the world and courses of events“ (ebd.: 74). Dabei betont Beckert die gesellschaftliche Verankerung von Erwartungen in historischen, kulturellen, institutionellen und politischen Kontexten (ebd.: 86f.).

Empirisch fassbar werden Zukunftsvorstellungen in der Ökonomie in Form von kommunizierten Narrativen, die sich z. B. aus Theorien, Modellen, Geschäftsplänen, Marketinginstrumenten oder Vorhersagen speisen können (ebd.: 10). Damit knüpft Beckerts Konzept ‚fiktionaler Erwartungen‘ auch an kultursoziologisch fundierte Arbeiten in der Marktsoziologie an, die die Rolle von ‚Geschichten‘ in den Fokus rücken, um zu verstehen, wie sich Marktakteure in unsicheren Situationen orientieren (Mützel 2009; 2010; H. White 2000). Durch das Erzählen von ‚Geschichten‘, z.B. über ihre Innovationsstrategien, nehmen Unternehmen in entstehenden Märkten fortlaufend aufeinander Bezug und auch Marktbeobachter, z.B. Marktforscher oder Kommentatoren in der Fachpresse, stellen Zusammenhänge zwischen Unternehmen her und nehmen Abgrenzungen vor. Am Beispiel des entstehenden Marktes für innovative Brustkrebstherapeutika zeigt Sophie Mützel, dass die Kommunikation von zukunftsgerichteten Geschichten in Pressemitteilungen, Medien und Industrieberichten in der Phase vor der Zulassung der Medikamente Teil eines „narrativen Wettbewerbs“ ist, in dem sich Produzenten zueinander positionieren und ihre Innovationsstrategien und Unternehmensidentität ausbilden (Mützel 2010: 99). Auch für die Frage nach der Legitimität neuer Unternehmen haben Autoren auf die Bedeutung eines zukunftsgerichteten Storytellings verwiesen. Raghu Garud und seine Mitautoren argumentieren, dass aufgrund der Unwägbarkeiten unternehmerischen Handelns immer wieder Erwartungsmanagement von Seiten der Unternehmen betrieben werden muss, um einen Verlust an Legitimität zu verhindern bzw. verlorene Legitimität durch die Rekonfiguration von zukunftsgerichteten Geschichte wiederherzustellen (Garud, Schildt und Lant 2014).

Einen weiteren Anknüpfungspunkt zwischen der kultursoziologisch fundierten Marktsoziologie und der Theorie ‚imaginerter Zukünfte‘ markiert die vorliegende Studie im Zusammenhang von Wertzuschreibung und Zukunftsnarrativen. Im Anschluss an Beckert und Shackle gehe ich von der Annahme aus, dass Erzählungen über die Zukunft Sinnressourcen für die Zuschreibung von Wert in der Ökonomie darstellen (Beckert 2016: 16f.; Shackle [1972] 2009: 8). Damit überhaupt Märkte entstehen, muss sich sowohl auf Seite der Anbieter als auch auf Seite der Nachfrager die Wahrnehmung entwickeln, dass ein Objekt oder eine Tätigkeit Wertigkeit besitzt, da ansonsten

weder in die Entwicklung eines Produktes investiert wird, noch auf Seite der Konsumenten ein Bedürfnis nach diesem Produkt aufkommt. Die Zuschreibung wertvoller Eigenschaften geschieht durch den diskursiven Austausch von Akteuren untereinander. Dabei gründen Wertzuschreibung gerade in unsicheren Situationen – sei es bei der Investition in Finanzprodukte, beim Kauf von Konsumgütern oder aber bei der Entwicklung von Innovation – auf Erwartungen an die Zukunft. Shackle bringt den Zusammenhang von Wertzuschreibung, Erwartung und Imagination zum Ausdruck, wenn er schreibt:

„A private judgement of value is, of its nature, essentially and inescapably, a conjecture of what the valued object or system will be able to do, a conjecture of its potentialities, of its future. Valuation is expectation. What is vital is that expectations are conjectures, let us say figments, resting on elusive, fragmentary, and confusing evidence whose interpretation and suggestion can change from moment to moment with no visible cause. Valuation is expectation and expectation is imagination“ (Shackle [1972] 2009: 8).

Wie das Zitat von Shackle andeutet, sind ‚imaginierte Zukünfte‘ im Kapitalismus nicht statisch, sondern unterliegen einem kontinuierlichen Wandlungsprozess. Es ist gerade diese dynamische Veränderung von Zukunftsvorstellungen, die der ‚immerwährenden Jagd nach dem Neuen und der permanenten Abwertung des Bestehenden‘ (Beckert 2017: 1) im Kapitalismus zugrunde liegt. Aus der hier skizzierten theoretischen Perspektive sind Wertzuschreibungen in der Ökonomie also vor allem deshalb nicht stabil, weil sie, wie Shackle schreibt, den ‚unaccountable shifts of the expectational kaleidoscope‘ (Shackle [1972] 2009: 8) ausgesetzt sind. Dynamik in Märkten, so lässt sich folgern, entsteht dann, wenn etablierte Zukunftsnarrative an Bedeutung verlieren und sich neue Zukunftsnarrative formieren. Die Untersuchung von Marktinnovationsprozessen wirft aus dieser Perspektive die Frage auf, wie sich Erwartungen an die Zukunft verändern.

In Shackles Ausführungen über die Wandelbarkeit von Erwartungen klingt es allerdings so, als ließe sich für diese Veränderungen keine systematische Erklärung finden; Verschiebungen im Erwartungshorizont seien, so schreibt er, ‚unaccountable‘ (ebd.). Zukunftsvorstellungen könnten sich demnach ‚von Moment zu Moment, ohne sichtbare Ursache verändern‘ (ebd.). Aber entziehen sich Erwartungsdynamiken wirklich einer soziologischen Erklärung? Vollzieht sich der Wandel von Erwartungen tatsächlich unsystematisch oder gar willkürlich? Gerade um Anhaltspunkte für die empirische Analyse von Marktinnovationsprozessen zu erhalten, erscheint eine Auseinandersetzung mit den Faktoren, die zur Veränderung von Erwartungshorizonten beitragen, wichtig. Im Folgenden schlage ich im Anschluss an pragmatistische Theorieansätze vor, Krisen als transformative Momente in den Fokus zu rücken, in denen sich Erwartungshorizonte verändern.

2.3.4. Krisen und Erwartungsdynamik

Angesichts der Vielfältigkeit von Ansätzen, Definitionen und Anwendungsbereichen des Krisenbegriffs in der sozial- und geschichtswissenschaftlichen Literatur (Graf und Jarausch 2017; Grunwald und Pfister 2007; Mergel 2012; Prisching 1986; Schäfers 2018) soll hier keine umfassende Sondierung von Krisentheorien oder eine verbindliche Krisendefinition vorgenommen werden. Vielmehr geht es mir darum, drei Aspekte zu skizzieren, die zur Konzeptualisierung des Zusammenhangs zwischen Krisen und Erwartungsdynamiken wichtig sind. Erstens stellen Krisen Momente dar, in denen Erwartungen erschüttert und rekonstruiert werden. Zweitens sind Krisen auf kollektiver Ebene immer deutungsabhängig und führen dementsprechend niemals nur zu einem bestimmten Lösungsvorschlag. Letztlich beinhalten Krisendeutungen eine ganz bestimmte narrative Bezugnahme auf die Zukunft, die sich als Entscheidung zwischen *Negativszenarien* auf der einen und *Regulationsvisionen* auf der anderen Seite darstellt.

Krise als Erschütterung unreflektierter Erwartungen

Aus der Perspektive pragmatistischer Theorieansätze vollzieht sich soziales Handeln in Abwechslung von habituellen und reflexiven Phasen (Joas 1996: 190; Nungesser und Pettenkofer 2018: 193). Übertragen auf das Handeln in Märkten heißt das: Sind Märkte (temporär) stabilisiert, handeln die Akteure routiniert und in gewohnten Bahnen, ohne das Markthandeln in Frage zu stellen. Mit Michel Callon ließe sich in diesem Fall auch von ‚kalten‘ Situationen sprechen, in denen Konflikte um die Ausgestaltung von Märkten für einen gewissen Zeitraum befriedet sind (Callon 1998: 261). Dynamik entsteht aus dieser Perspektive dann, wenn selbstverständlich wahrgenommene Gegebenheiten in Zweifel gezogen und damit routiniert ablaufende Handlungen in ihrem Fluss unterbrochen werden. Solche Situationen lassen sich als Krisen beschreiben. In Krisensituationen geraten einst geltende, womöglich bereits nicht mehr bewusste oder aktiv kommunizierte Erwartungen mit gegenwärtigen Erfahrungen in Widerspruch. „Unreflektierte Erwartungen“, so fasst es Hans Joas, werden durch die Konfrontation mit der „Widerständigkeit der Welt“ erschüttert, worauf eine „Phase des realen Zweifels“ einsetzt, die überwunden werden kann, wenn „neue oder andere Aspekte der Wirklichkeit“ (Joas 1996: 190) erfasst werden.

Die Krise ist also eine Erschütterung oder Störung von Erwartungshorizonten und gleichzeitig eine Phase, in der sich Vorstellungen von der Zukunft neu ausbilden. Die Fähigkeit zur Reflexion gilt aus pragmatistischer Perspektive als Voraussetzung für Innovationen. Durch kreatives

Experimentieren und durch die Orientierung an „anderen Punkten der Welt“ (Joas 1996: 190) versuchen Akteure, alternative Lösungen für ein Problem zu finden. Solche Rekonstruktionsprozesse erfordern eine bewusste Distanzierung von etablierten Handlungsroutrinen und die imaginative Fähigkeit der Handelnden zum Entwurf alternativer Pfade (Beckert 2003: 775). Dabei entstehen krisenhafte Handlungsprobleme nicht nur dann, wenn „der Organismus fundamental gefährdet ist“ (Joas 1996: 196), also ein vollständiger Zusammenbruch des Handlungsablaufs zu befürchten ist. Auf der Handlungsebene lassen sich Krisen weitaus niedrigschwelliger konzeptualisieren. So ist der routinierte Handlungsfluss immer wieder „unerwarteten Widerfahrnissen“ (ebd.) ausgesetzt. Darunter fällt beispielsweise die Situation, wenn die Handelnden ihre Ziele nicht erreichen können, oder aber, wenn

„erreichbare Ziele (...) von anderen Handelnden in Zweifel gezogen [werden]. In diesen verschiedenen Arten von Krisen des habituellen Handelns müssen die Situationen des Handelns anders und neu bestimmt werden (...). Jede Situation enthält nach Auffassung der Pragmatisten einen Horizont von Möglichkeiten, der in der Krise des Handelns neu erschlossen werden muß. Es werden Hypothesen aufgestellt: Vermutungen über neue Brücken zwischen Handlungsimpulsen und Situationsgegebenheiten“ (ebd.).

Mit Blick auf die Ökonomie haben sowohl Jens Beckert als auch Bob Jessop die dynamisierende Wirkung von Krisen auf die Erwartungshorizonte der Akteure betont (Beckert 2016: 34; Jessop 2010). In Krisensituation ist die Unsicherheit über die Zukunft besonders groß, sodass Akteure, die Entscheidungen treffen wollen, sich nicht auf bislang geltende Informationen verlassen können. Sie sind daher geradezu angewiesen auf Vorstellungen über die Zukunft, um sich zu orientieren. Es handelt sich um unruhige Phasen, in denen sich Akteure bewusst und daher meistens auch für die Soziologin empirisch wahrnehmbar mit möglichen Zukünften beschäftigen. Zwar artikulieren Akteure auch in ‚normalen Zeiten‘ ‚innovative Strategien, Taktiken, Projekte und Visionen‘ (Jessop 2010: 347). Krisen verschärfen jedoch die Auseinandersetzung mit der Zukunft. Die Entstehung neuer Zukunftsimagination findet daher häufig ihren Ausgangspunkt in krisenhaften Situationen. Auch deswegen sind Krisen jene Momente, in denen Unternehmen die etablierte Marktordnung mit neuen Ideen in Frage stellen können (Fligstein 2001: 83f.). Krisenmomente zu identifizieren, ist daher ein produktiver Einsatzpunkt für die empirische Analyse von Marktinnovationsprozessen.

Krise als Interpretation und politische Strategie

Betrachtet man Krisen nicht auf der individuellen Handlungsebene, sondern auf der kollektiven Ebene, dann muss allerdings auch der Tatsache Rechnung getragen werden, dass Krisen niemals einfach nur rein objektiv als ‚Widerständigkeiten der Welt‘ gegeben, sondern immer diskursiv vermittelt sind. Zwar werden Krisen auf der individuellen Handlungsebene als konkrete Reduktion der Handlungsoptionen erfahren, auf kollektiver Ebene sind Krisen, die öffentlich wahrgenommen und als solche kommuniziert werden, allerdings keine ‚extra-semiotischen Momente‘ (Jessop 2010: 346). Vielmehr existieren im öffentlichen Diskurs zumeist verschiedene Interpretationen und Deutungen der Krise, die die Fragen nach den Ursachen und Verursachern, der Schwere, der Dauer oder den Lösungsmöglichkeiten ganz unterschiedlich beantworten. Öffentlich wahrgenommene und definierte Krisen produzieren nicht nur eine bestimmte Lösungsstrategie. Somit sind kollektive Krisen zwar Ereignisse mit realen Ursachen, Effekten und Erfahrungen. Dennoch sind sie als Ausgangspunkt für Veränderungen immer auch abhängig vom ‚Krisenbewusstsein‘ einer ‚Krisengemeinschaft‘, die ein Ereignis als Krise reflektiert und definiert (Milstein 2015: 151). Bezogen auf die Dynamik von Märkten lassen sich solche ‚Krisengemeinschaften‘ im Anschluss an John Dewey auch mit dem Begriff der ‚Öffentlichkeit‘ fassen, worunter all jene fallen, „who are affected by the indirect consequences of transactions to such an extent that it is deemed necessary to have those consequences systematically cared for (Dewey, zit. in: Overdevest 2011: 535). Produzieren Märkte indirekte Folgen, kann sich eine Öffentlichkeit formieren, die ein Problem als „matters of concern“ (Callon 2010: 231) markiert und als veränderungsbedürftig definiert.

Diese Sichtweise auf kollektive Krisen impliziert, dass die Definition eines Ereignisses als Krise auch ein politisches bzw. strategisches Mittel darstellen kann, um die etablierte Ordnung anzufechten, Kritik zu üben, Handlungsdruck zu erzeugen und alternative Zukünfte zu legitimieren. Krisendeutungen hängen also immer auch von partikularen Interessen ab (Jessop 2013: 241). Indem ein Ereignis als Krise gedeutet wird, versuchen Akteure das öffentliche Bewusstsein auf eine drohende Gefahr einzuschwören, die nach einer schnellen Reaktion verlangt (Graf und Jarausch 2017: 12). Eine Krise zu proklamieren, bedeutet auch eine bestimmte Diskursintervention vorzunehmen, die eine kollektive Reflektion über das gesellschaftliche Zusammenleben auslösen und Visionen für eine Erneuerung der etablierten Ordnung rechtfertigen soll (ebd.: 12ff.). Für die empirische Analyse ergibt sich aus dieser Perspektive, dass kollektiv

wahrgenommene Krisen nicht einfach als objektiv gegebene Kausalfaktoren in historischen Prozessen aufzufassen sind. Vielmehr kommt es darauf an, wer welche Ereignisse wie als Krise definiert und wie diese Interpretationen Wandlungsprozesse beeinflussen (ebd.: 6).

Die Krise als Scheidepunkt zwischen Negativzukunft und Regulation

Mit der Interpretation einer Situation als Krise nehmen Akteure immer auch eine bestimmte narrative Bezugnahme auf das Zukünftige vor. Zwar weisen kollektive Krisendeutungen zunächst einmal *diagnostische* Elemente auf, die sich auf gegenwärtige Problemlagen beziehen und den betroffenen Akteuren eine Entscheidung abverlangen. Andererseits beinhalten Krisendeutungen aber immer auch *prognostische* Elemente, die unterschiedliche, von der noch zu treffenden Entscheidung abhängende Zukünfte vorzeichnen (Graf 2008: 361). Nach Rüdiger Graf verweist der Krisenbegriff „erstens auf eine Zeit der Unsicherheit bis zur Entscheidung, zweitens auf die anzustrebenden oder zu vermeidenden Folgen der Entscheidung und damit auch drittens auf die Handlungsstrategien, die den Ausgang der Entscheidung beeinflussen können“ (ebd.: 361). Anders als es vielfach üblich ist, lässt sich die Krise also nicht nur als „Niedergang“ oder „Verschlechterung“ (ebd.: 362) begreifen, sondern als Scheidepunkt, der im Grunde zwei alternative Zukünfte einander gegenüberstellt.

Auf der einen Seite modellieren kollektive Krisennarrative das Zukünftige als Negativszenario, als Bedrohung, als Katastrophe. Ein bloßes Fortsetzen bisheriger Gewohnheiten wird mit negativen Imaginationen von der Zukunft in Verbindung gebracht. Dabei zeichnen sich katastrophische Zukunftsnarrative gegenüber anderen Bezugnahmen auf die Zukunft durch einen besonderen „epistemischen Status“ (Horn 2014: 25) aus. Die ‚Zukunft als Katastrophe‘ verlangt immer ein präventives Eingreifen, das den Eintritt der Negativoption verhindert. Katastrophennarrative bringen eine Dringlichkeit zum Ausdruck und beanspruchen damit, „etwas bereits in der Gegenwart Gegebenes zutage treten zu lassen“ (ebd.). Durch die Bezugnahme auf die Zukunft als Katastrophe bekommen latente Bedrohungen eine greifbare Gestalt: „Sie bringen etwas aus der Latenz hervor, sie erschaffen etwas Erzähl-, Darstell- und Erlebbares, eine konkrete, modellhafte Situation, in der die ungreifbare und bedrohliche Zukunft greifbar und damit auch affektiv bearbeitbar wird“ (ebd.: 35). Während die aktuellen erwartungssoziologischen Ansätze in der Wirtschaftssoziologie und der Wissenschafts- und Technikforschung den Fokus vor allem auf den imaginierten *Nutzen* von Innovationen als Antriebskraft des Handelns legen, betone ich in dieser

Arbeit auch die Kehrseite, das imaginierte Negativszenario. Negativszenarien können zur Re-evaluation, Delegitimierung und Destabilisierung etablierter Märkte führen, wenn Marktobjekte, Marktakteure oder Marktverhalten mit diesem Negativszenario narrativ verknüpft werden.

Auf der anderen Seite involvieren Krisennarrative Lösungsvorschläge, die einen Weg aus der Krise entwerfen bzw. die eine Steigerung der Probleme zu einem katastrophischen Bruch verhindern sollen. Bob Jessop konzeptualisiert solche Lösungsvorschläge als „imagined recoveries“ (Jessop 2013: 239), die sich je nach Krisendefinition unterscheiden, in jedem Fall aber Strategien und Maßnahmen vorgeben, um die Krise zu bewältigen. Es handelt sich also um Regulationsvisionen, die eine Lösung für einen problematisierten Sachverhalt entwerfen. Bezogen auf die Frage nach der Dynamik von Märkten bieten solche Visionen Marktakteuren Orientierung für die Ausrichtung von Innovationsprozessen.

2.3.5. Neue Ideen und Realisierungsversuche

Der Wandel von Erwartungen in Krisen rückt die dynamisierenden, transformativen Momente in Märkten in den Fokus. Wie ich in Kapitel 2.2. argumentiert habe, rufen Marktinnovationsprozesse allerdings nicht nur die Frage danach auf, wie es zu einem Bruch mit den etablierten Routinen und zur Entstehung von Neuem kommt, sondern auch, wie sich Neues angesichts konkurrierender Interessen etabliert. Dementsprechend reicht meines Erachtens ein Forschungsprogramm, das sich nur auf die dynamisierende Wirkung von Krisen und sich wandelnder Zukunftsnarrative konzentriert, nicht aus, um Veränderungsprozesse in der Ökonomie zu untersuchen. Vielmehr muss auch die Frage nach der Stabilisierung von Innovationen in den Blick genommen werden.

Zum Verständnis von Stabilisierungsprozessen liefern pragmatistische Theorieansätze ebenfalls Hinweise. So wird in pragmatistischen Ansätzen zwischen der Entstehung neuer Ideen und ihrer Routinisierung unterschieden. Christine Overdevest hat in ihrer Auseinandersetzung mit der Dynamik von Märkten z. B. darauf hingewiesen, dass sich neue Ideen erst in der Praxis bewähren müssen, um sich zu stabilisieren: „Classical American pragmatists (...) believe that ideas-in-action (practices) construct the world, but the world provides a resistance that is best thought of as a ‘test’ of the idea’s success“ (Overdevest 2011: 536). Mit Bruno Latour, Luc Boltanski und Laurent Thévenot lässt sich dieses ‚beweisen an der Welt‘ auch mit dem Konzept der „trials of strength“ (Latour 1988: 74) bzw. der „Prüfung“ (Boltanski und Thévenot [1991] 2014: 187ff.) fassen. ‚Prüfungen‘ sind dann Prozeduren, mit denen die Angemessenheit des Neuen in Bezug auf einen

bestimmten moralischen Standard bewertet wird (ebd.: 28). Da Prüfungen auch scheitern können, wird nicht jede Rekonstruktion zwangsläufig zu einer neuen habituellen Routine.

Übertragen auf Innovationsprozesse bedeutet dies, dass technologische Innovationen zunächst einmal nur *Wertversprechen* sind. Erst wenn dieses von Nachfragern und dem weiteren Marktumfeld angenommen wird, verändern sich Märkte. Marktinnovationsprozesse, die die Einführung neuer Technologien involvieren, lassen sich daher auch als eine Art ‚Verlängerung technologischer Innovationsprozesse‘, verstehen, die darin besteht, dass neue technologische Lösungen für ein Problem institutionalisiert werden (Vargo, Wieland und Akaka 2015: 70): „Market innovation (...) requires the acceptance of a value proposition as well as the continued exchange, integration and application of a particular technology among multiple actors, over time (i.e., institutionalization)“ (ebd.: 67).

Ich argumentiere, dass zum soziologischen Verständnis von Marktinnovationsprozessen daher auch solche Situationen in den Blick genommen werden müssen, in denen abstrakte Visionen in konkrete Produkte und neue Marktbeziehungen realisiert werden. Während die Soziologie der Erwartungen weiterführend ist, um zu begreifen, wie Vorstellungen von der Zukunft in frühen Phasen technologischer Innovationsprozesse – wenn noch keine physischen Artefakte oder Produkte existieren – das Handeln der Akteure orientieren, hat sie wenig anzubieten, wenn es um die Frage nach den Realisierungsversuchen von technologischen Visionen in Produkte und Marktbeziehungen geht. Im Rahmen dieser Realisierungsversuche treffen Innovationen auf potentielle Nachfrager, Konkurrenten und ein Marktumfeld aus Regulationsinstanzen, technischen Infrastrukturen und Marktintermediären, die auf das Neue reagieren. Dieses Aufeinandertreffen von Neuem und Bestehendem ist in solchen Beiträgen der Innovationsforschung thematisiert worden, die sich mit der Implementation von neuen Technologien auseinandersetzen. Die folgenden theoretischen Perspektiven sind meines Erachtens anschlussfähig für die Konzeptualisierung von Marktinnovationsprozessen in dieser Arbeit.

Innovationen und Institutionen

Eine zentrale Einsicht der Innovationsforschung besteht darin, dass Innovationsprozesse nicht im luftleeren Raum, sondern in einem institutionellen Umfeld, d. h. in einem Kontext aus etablierten Handlungsrouninen, ablaufen (Glückler und Bathelt 2017; Hargadon und Douglas 2001). Hargadon und Douglas konzeptualisieren Innovationen in ihrer Wirkung als destabilisierende Faktoren,

Institutionen hingegen als stabilisierende Faktoren. Interessant sind dann jene historischen Momente, in denen Innovationsprojekte beginnen, etablierte Institutionen zu beeinflussen und zu transformieren. Zwar sollte man Institutionen nicht als stabile soziale Konstrukte begreifen – Innovationsprojekte richten sich ja häufig gerade selbst darauf, bestehende Institutionen so zu verändern, dass sie den Implementationsprozess einer neuen Technik ermöglichen (z. B. durch die Einflussnahme auf die gesetzliche Regulation von Märkten). Dennoch unterstützen etablierte Institutionen das Neue häufig nicht. Die Analyse der „tensions and barriers“ (Bathelt et al. 2017: 5) zwischen dem Neuen und dem Bestehenden, trägt dazu bei, den Erfolg oder das Scheitern von Innovationsprojekten zu verstehen. Hargadon und Douglas argumentieren zum Beispiel, dass die Anpassung von Innovationen an etablierte institutionelle Arrangements zu ihrem Erfolg beitragen kann (Hargadon und Douglas 2001).

Gesellschaftliche Einbettung von Innovationen

Einen ähnlichen Gedanken formulieren auch Ansätze, die sich mit der Notwendigkeit einer ‚gesellschaftlichen Einbettung‘ von Innovationen beschäftigen (Deuten, Rip und Jelsma 1997). Demnach müssen Innovationen aus der Perspektive der Innovatoren in drei Umfelder eingebettet werden: das geschäftliche Umfeld bestehend aus Kunden und Lieferanten, das regulatorische Umfeld, bestehend aus lokalen, regionalen und nationalen Regierungen und Standardsetzungsorganisationen, und letztlich die ‚weitere Gesellschaft‘, womit Konsumenten-Tier- und Umweltschutzorganisationen, Meinungsführer, die Medien und unabhängige Wissenschaftler gemeint sind (ebd.: 133). Um neue Technologien zu implementieren, müssen sie also nicht nur als Produkte kommerzialisiert werden, sie müssen zudem regulatorisch zugelassen und unter zentralen gesellschaftlichen Gruppen akzeptiert werden. Ähnlich wie die Organisationsforschung betonen Geels und Verhees, dass technologische Innovationen legitimiert werden müssen. Sie sprechen hier von der Konstruktion ‚kultureller Legitimität‘ für neue Technologien (Geels und Verhees 2011). Die gesellschaftliche Einbettung von Innovationen ist allerdings komplex, anfällig für Probleme und kann scheitern. Die praktischen Probleme der gesellschaftlichen Einbettung von neuen Technologien werden dabei, wie Geels und Smit argumentiert haben, kaum in den Zukunftsvisionen von Innovatoren reflektiert, sodass die Geschwindigkeit und der Einfluss von Innovationsprojekten häufig überschätzt wird (Geels und Smit 2000: 879). Dennoch ermöglicht die Einführung von Innovationen, gerade wenn sie auf Probleme stößt, Lernprozesse.

Rekonfiguration von Innovationen

Mit dem Hinweis auf Lernprozesse ist ein letzter wichtiger Punkt für die Analyse von Innovationsprozessen angesprochen. So haben Innovationsstudien gezeigt, dass es sich bei technologischen Innovationen um nicht-lineare Entwicklungen handelt – die von der ursprünglichen Idee über deren Entwicklung bis zu ihrer Implementation eine Reihe von Transformationen durchlaufen, in denen sich sowohl die materiellen Artefakte als auch die zugrunde liegenden Ideen selbst verändern (Van de Ven et al. 1999). Häufiger als eine einfache Erfolgsgeschichte finden sich daher „false starts and deadends, partial triumphs and victories (...)“. In the end, the idea itself is transformed as the innovation process unfolds“ (Garud, Tuertscher und Van de Ven 2013: 783). Der Innovationsprozess ist also gewissermaßen ein „trail of trials“ (Moors, Rip und Wiskerke 2004: 35). Betrachtet man Innovationsprozesse aus dieser Perspektive, dann lässt sich auch die Implementation von Innovationen nicht als einfacher Diffusionsprozess konzeptualisieren. Angesichts der mitunter problembehafteten gesellschaftlichen Einbettung sind häufig Anpassungen, Rekonstruktionen und Rekontextualisierungen der Innovationen notwendig (Garud, Tuertscher und Van de Ven 2013: 798; Pinch, Hughes und Bijker 1987; Van de Ven et al. 1999). Somit liegt im Versuch, Innovationen zu stabilisieren, selbst wieder Potential für neue Dynamik.

2.4. Zusammenfassung und Implikationen für die empirische Analyse

Das vorangegangene Kapitel hatte das Ziel, die theoretischen Bausteine der vorliegenden Untersuchung darzulegen. Dazu habe zunächst eine Rekapitulation der wirtschaftssoziologischen Grundannahmen dieser Arbeit vorgenommen. Im Anschluss an die Arbeiten der Wirtschaftssoziologie habe ich Märkte als konkrete, empirisch zu untersuchen Beziehungsgefüge charakterisiert. Aufgrund des Wettbewerbs zwischen Unternehmen und aufgrund externer Effekte, die Märkte erzeugen können, begreife ich sie zudem mit Neil Fligstein als ‚inhärent politisch‘. Zudem schließe ich an kultursoziologisch fundierte Ansätze in der Marktsoziologie an, die den Fokus auf Wertzuschreibungs- und Bewertungsprozesse legen, um die Entstehung und Strukturierung von Märkten zu erklären. Diese bieten Einsicht in die Konstruktion wertvoller Marktobjekte. Die kultursoziologische Perspektive auf Märkte ist auch insofern grundlegend für die vorliegende Studie, da sie sich mit der Bedeutung imaginerter Zukünfte in Marktinnovationsprozessen auseinandersetzt. Imaginierte Zukünfte treten in Form von Narrativen auf, sie sind interpretative Rahmen, an denen sich Marktakteure orientieren können, und sie dienen

als Sinnressourcen für die Zuschreibung von Wert. Imaginierte Zukünfte gehören also zu den kulturell-kognitiven Bedeutungsstrukturen, die das Markthandeln prägen. Daher knüpfe ich in dieser Studie an die kultursoziologisch fundierte Marktsoziologie an, ergänze sie jedoch um die Zukunftsdimension kultureller Bedeutungsproduktion.

Während sich das Einbettungskonzept als solches vor allem für die Analyse der sozialen Ordnung von bestehenden Märkten eignet, habe ich mich im zweiten Teil des Kapitels mit den für diese Arbeit zentralen Veränderungsprozessen in der Ökonomie beschäftigt. Ich habe vorgeschlagen, bei der Analyse von Marktinnovation analytisch zwischen zwei Prozessen zu unterscheiden. Die Veränderung von Märkten involviert demnach sowohl dynamisierende als auch stabilisierende Prozesse. Im letzten Teil des Kapitels habe ich die Frage nach den Veränderungsprozessen in der Ökonomie im Hinblick auf die Rolle ‚imaginiertes Zukünfte‘ spezifiziert und im Anschluss an pragmatistische Theorieansätze ein Analysemodell entwickelt, das die empirische Untersuchung in dieser Arbeit anleiten soll.

Das in dieser Arbeit entwickelte Analysemodell verortet die Dynamisierung bestehender Märkte dort, wo etablierte Handlungsrouitinen in die Krise geraten. Krisen habe ich als Phasen gesteigerter Auseinandersetzung mit der Zukunft beschrieben, in denen sich Erwartungen verändern. Dabei sind Krisen auf der Ebene des Kollektivs nicht einfach nur objektiv gegeben, sondern werden als solche von ‚Krisengemeinschaften‘ definiert und interpretiert. In Krisen formieren sich ‚Öffentlichkeiten‘, die die Handlungsrouitinen in Märkten als Problem – als ‚matters of concern‘ – markieren. Krisendiagnosen zeichnen sich dabei durch einen doppelten Bezug auf das Zukünftige aus. Einerseits entwerfen sie die Zukunft als *Negativszenario*, das abgewendet werden muss. Werden bestimmte Produkte mit diesen Negativszenarien in Verbindung gebracht, verlieren sie an Legitimität. Andererseits öffnet die Krise den Raum für Akteure, die *Regulationsvisionen* als Lösung für die Krise formulieren. Regulationsvisionen fungieren als Orientierungsfaktor in technologischen Innovationsprozessen und ermöglichen die Konstruktion technologischer Verheißungsobjekte. Wertzuschreibungen in technologischen Innovationsprozessen basieren zu Beginn vor allem auf Behauptungen und Versprechen darüber, was eine neue Technik in Zukunft leisten wird und welche ökonomischen Profite mit ihr möglich sein werden.

Im Laufe der Zeit entstehen allerdings auch konkrete technische Artefakte, mit denen Innovatoren versuchen, etablierte Unternehmen herauszufordern und neue Marktbeziehungen zu stabilisieren.

Unternehmen versuchen neue Produktkategorien zu etablieren, neue Produkteigenschaften geltend zu machen, neue technische Infrastrukturen aufzubauen oder die institutionelle Einbettung von Märkten so zu verändern, dass Innovationen einen Vorteil gegenüber den etablierten Angeboten erhalten. Die Stabilisierung neuer Märkte ist jedoch ein prekärer Prozess. Häufig konkurrieren unterschiedliche Innovationsprojekte um potentielle Anwender. Die Einführung technologischer Innovationen erfordert ihre Einbettung in geschäftliche, regulatorische und gesellschaftliche Umfeldler und ist dementsprechend komplex und anfällig für Probleme und Hindernisse. Beim Versuch neue Marktbeziehungen zu etablieren, stoßen Unternehmen auf ein bestehendes Feld von Konkurrenten, notwendigen Kooperationspartnern, technischen Infrastrukturen und Bewertungsinstanzen, die auf das Neue in der ein oder anderen Weise reagieren.

Das Analysemodell lenkt die folgende empirische Untersuchung auf zwei zentrale Punkte: Erstens rückt es Krisen als destabilisierende und transformative Momente in den Fokus. Im Anschluss an ein pragmatistisches Konzept wirtschaftlicher Dynamik ist die empirische Untersuchung in dieser Arbeit „issue driven“ (Overdevest 2011: 536), d. h. soziale Probleme und Problematisierungen stellen Fokuspunkte der Analyse dar. Gerade wenn Probleme in etablierten Handlungsabläufen auftauchen, öffnet sich der Raum für Veränderung. In Krisen verstärkt und bündelt sich die Auseinandersetzung mit der Zukunft, die dann auch für die soziologische Analyse sichtbar wird.

Zweitens richtet sich die empirische Analyse auf Situationen, in denen abstrakte Visionen in konkrete Produkte realisiert werden, mit denen Unternehmen versuchen, bestehende Marktbeziehungen herauszufordern und neue aufzubauen. Insbesondere untersuche ich dabei die Reaktionen des Umfeldes auf das Neue. Das der empirischen Untersuchung zugrunde liegende Analysemodell trägt der Tatsache Rechnung, dass die Entstehung von Neuem weder teleologisch ist, noch linear verläuft. Vielmehr sensibilisiert es für die Widerstände und Probleme, die Stabilisierungsversuchen im Weg stehen.

Nachdem ich im vorangegangenen Kapitel die theoretischen Grundlagen der Arbeit dargelegt habe, folgt nun der erste Teil der empirischen Untersuchung. Hier werde ich die historischen Entstehungskontexte von (biologischer) Abbaubarkeit und Biobasiertheit als neue Innovationsziele in der Kunststoffentwicklung rekonstruieren. Es geht hier also um die Frage, wie es überhaupt zu Abweichungen von den etablierten Routinen in der Kunststoffentwicklung kam und wie neue

Innovationsziele entstanden sind. Bevor ich mit der Analyse einsetze, folgt im nächsten Abschnitt zunächst eine kurze Einführung in diesen Teil der Arbeit.

Teil I: (Biologische) Abbaubarkeit und Biobasiertheit als neue Innovationsziele (1970er-1980er Jahre)

Aus der Perspektive einer kultursoziologisch fundierten Marktsoziologie richtet sich die Analyse von Märkten, wie ich im theoretischen Teil der Arbeit deutlich gemacht habe, auf die Signifikationsprozesse, in denen Dingen und Tätigkeiten Wert zugeschrieben wird (siehe Kap. 2.1.3.). Die Produktion und der Konsum von Gütern hängen grundlegend davon ab, dass Objekte, Tätigkeiten oder Produkteigenschaften als wertvoll wahrgenommen werden. Dabei sind die Vorstellungen darüber, was konkret als wertvoll oder wertlos definiert wird, beeinflusst von gesellschaftlichen Wertvorstellungen (Krüger und Reinhart 2016: 491). Das trifft besonders dann zu, wenn Gütern nicht nur Wert für den einzelnen Konsumenten zugeschrieben wird, sondern, wie im Falle ‚grüner‘ Produkte, ein gesellschaftlich-ideeller Wert wie der Schutz der natürlichen Umwelt. Veränderung in Märkten – die Abkehr von Routinen und die Entstehung von Neuem – geschieht aus dieser Perspektive durch die Abwertung von Bestehendem und die Aufwertung von Neuem. Von dieser Annahme ausgehend, untersuche ich im ersten Teil der empirischen Studie, wie sich in der Kunststoffentwicklung, die traditionellerweise *fossile Rohstoffquellen* nutzt und das Ziel verfolgt, Kunststoffe möglichst *stabil* zu machen, *biologische Abbaubarkeit* und *Biobasiertheit* zu potentiell wertvollen Produkteigenschaften entwickelten. Mit *wertvoll* meine ich einerseits die Zuschreibung von ideellem – also hier ökologischem – Wert, andererseits aber auch von monetärem Wert, der auf der Vorstellung gründet, dass sich mit der Entwicklung alternativer Kunststoffe Profit erwirtschaften lässt.

Im Folgenden analysiere ich also Prozesse, in denen „Objekte und Objektfelder überhaupt als werthaltig definiert werden“ (ebd.: 487), um die Entstehungsbedingungen von Märkten für Biokunststoffe zu rekonstruieren. Das heißt, es wird im Folgenden nicht um Wertzuschreibung in konkreten Marktsituationen, also im tatsächlichen Tauschakt zwischen Anbietern und Nachfragern, gehen, sondern um *historisch vorgelagerte* Wertzuschreibungsprozesse, die überhaupt erst dazu geführt haben, dass in der Kunststoffentwicklung neue Innovationsziele verfolgt wurden. Ziel der folgenden drei Kapitel ist die Rekonstruktion des historischen Kontexts, in dem (biologische) Abbaubarkeit und Biobasiertheit als wertvolle Eigenschaften von Kunststoffen und damit als neue, potentiell aussichtsreiche Innovationsziele in der Kunststoffentwicklung definiert wurden. Dabei gehe ich davon aus, dass zur Untersuchung von Wertzuschreibungsprozessen die intersubjektiv geteilten *Bedeutungen* in den Blick genommen

werden müssen, die mit Objekten, Tätigkeiten oder Eigenschaften verbunden werden (Beckert 2009: 16).

Die Untersuchung ist dabei von der theoretischen Annahme geleitet, dass Wertzuschreibung wesentlich auf den ‚imaginierten Zukünften‘ gründet, die mit Objekten, Eigenschaften oder Tätigkeiten verknüpft werden. „Current value is based on fictional expectations regarding future outcomes and, vice versa, fictional expectations express assumptions about future value“ (Beckert 2016: 17). Damit Produzenten das Risiko eingehen, in Innovationsprozesse zu investieren, müssen sie überzeugt sein, dass Innovationen zukünftiges Marktpotential haben. Speziell für technologische Innovationen hat die Soziologie der Erwartungen gezeigt, dass ihr zugeschriebener Wert zu Beginn von Innovationsprozessen vor allem auf Erwartungen an ihre zukünftige technologische Leistungsfähigkeit beruht (Borup et al. 2006). Wertzuschreibungen verändern sich aus dieser theoretischen Perspektive dann, wenn bestehende Narrative von zukünftigen Entwicklungen an Glaubwürdigkeit verlieren und sich neue Zukunftsnarrative herausbilden. Wie also haben sich Erwartungen an Kunststoffe verändert? Und im Rahmen welcher neuen Zukunftserzählungen wurde den Produkteigenschaften (biologischer) Abbaubarkeit und Biobasiertheit Wert zugeschrieben?

Der erste Teil der empirischen Untersuchung gliedert sich in drei Hauptkapitel. In Kapitel 3 untersuche ich, wie sich (*biologische*) *Abbaubarkeit* zu einer potentiell wertvollen Produkteigenschaft für Kunststoffe entwickelt hat. Ich zeige hier, wie es dazu kam, dass Polymerchemiker ihr traditionelles Innovationsziel – die Stabilisierung von Kunststoffen – ins Gegenteil verkehrten und damit begannen, einen ‚Abbau‘ von Kunststoffen willentlich herbeizuführen. In Kapitel 4 und Kapitel 5 widme ich mich der *Biobasiertheit* als zweiter Produkteigenschaft heutiger Biokunststoffe. Ähnlich wie für die Eigenschaft der (biologischen) Abbaubarkeit untersuche ich hier den historischen Kontext, in dem sich Biobasiertheit in den 1970er und 1980er Jahren zu einer wertvollen Eigenschaft für Kunststoffe entwickelte. Anders als die Idee der Abbaubarkeit war die Idee, Kunststoffe aus Pflanzen herzustellen, im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts allerdings nicht neu, sondern wurde reaktiviert. Das bedeutet auch, dass bereits wissenschaftliche Veröffentlichungen und zum Teil sogar Patente zu Kunststoffen existierten, die heute zur Produktkategorie der Biokunststoffe gezählt werden, die aber bis in die 1970er bzw. 1980er Jahre als wertlose chemische Substanzen galten. Aus Gründen der besseren Darstellbarkeit habe ich die Untersuchung in diesem Fall auf zwei Kapitel aufgeteilt. Kapitel 4

rekonstruiert Auseinandersetzungen über die Zukunft in drei verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen, in denen neue Erwartungen an die industrielle Nutzung pflanzlicher Rohstoffe entstanden. In Kapitel 5 beschäftige ich mich mit der Geschichte von zwei konkreten biobasierten Kunststoffen – PHB und PLA. Indem ich ihre Objektbiographie von der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts bis in die 1980er Jahre verfolge, zeige ich, wie sich beide Polymere im Kontext der neuen Erwartungen an pflanzliche Rohstoffe von wertlosen Substanzen zu potentiell wertvollen Innovationsobjekten entwickelten.

3. Abbaubare Kunststoffe als Lösung für das Litterproblem

Bis in die 1960er Jahre gehörte die Stabilisierung von Kunststoffen zum obersten Ziel der Kunststoffentwicklung. Polymerforscher arbeiteten bis dahin vor allem daran, die Widerstandsfähigkeit der Kunststoffe gegen natürliche Zerfallsprozesse zu erhöhen. Wenn sich Kunststoffchemiker mit den natürlichen Zersetzungsprozessen von Kunststoffen beschäftigten, dann um diese möglichst zu verhindern (Haldenwanger 1970; Wessel 1964). Am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren begannen Polymerchemiker allerdings entgegen ihrer traditionellen Zielsetzung damit, Technologien zu entwickeln, die einen ‚(biologischen) Abbau‘ von Kunststoffen willentlich herbeiführen sollten. „Biodegradability has not been an attraction. (...) But now the picture has changed“ (Rodriguez 1971: 92), schrieb der Chemiker Ferdinand Rodriguez in einem Artikel in der Fachzeitschrift *Modern Plastics* über den Umbruch in der Kunststoffentwicklung. Dieser Umbruchspunkt steht im Zentrum des folgenden Kapitels. Ich untersuche die Frage, wie sich ‚Abbaubarkeit‘ zu einer potentiell wertvollen Eigenschaft von Kunststoffen entwickelt hat.

Zur genaueren Lokalisierung muss vorab darauf hingewiesen werden, dass die Idee, ‚abbaubare Kunststoffe‘ zu entwickeln, zunächst insbesondere in Nordamerika und Japan diskutiert wurde. Das lag, wie zeitgenössische Beobachter feststellten, unter anderem daran, dass dort die Etablierung einer geordneten Abfallentsorgung besonders vernachlässigt worden war, sodass Kunststoffabfälle vermehrt als unsachgemäß entsorgter *Litter*⁶ in der Natur auftauchten (Oberbacher 1974: 16). Angesichts ähnlicher Problemwahrnehmungen und einer „weltweit geführte[n] Diskussion über die Gefahren durch nicht abbaubare Kunststoffe“ (ebd.: 17) räsionierte die Idee jedoch auch in anderen westlichen Industrieländern. So forschten z. B. auch in Großbritannien oder Schweden Polymerchemiker an der Herstellung ‚abbaubarer Kunststoffe‘. Die im Folgenden herangezogenen Quellen – wissenschaftliche Publikationen, Vorträge von Polymerchemikern, Artikel in Industriemagazinen, Veröffentlichungen von Ökologen oder Statements von Politikern – stammen größtenteils aus dem nordamerikanischen Raum, da hier die Debatte um ‚abbaubare Kunststoffe‘ besonders öffentlichkeitswirksam geführt wurde und sich

⁶ Ich verwende hier den englischen Begriff *Litter*, da er im Gegensatz zum deutschen Begriff *Abfall* das ökologische Problem der Kunststoffe am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren genauer spezifiziert. Mit *Litter* wird Abfall bezeichnet, der nicht geordnet, zum Beispiel auf Mülldeponien oder in Verbrennungsanlagen, sondern unsachgemäß in der Natur entsorgt wird.

daher für die Soziologin gut rekonstruieren lässt. Ich gehe allerdings immer wieder auch auf Veröffentlichungen aus europäischen Ländern wie Deutschland oder England ein, um zu zeigen, dass die Idee der ‚Abbaubarkeit‘ auch in Europa diskutiert wurde. Dokumente aus dem japanischen Raum habe ich aus sprachlichen Gründen nicht einbezogen.

Zu den Begrifflichkeiten in diesem Kapitel muss außerdem darauf hingewiesen werden, dass zu diesem frühen Zeitpunkt aufgrund der Neuartigkeit der Idee relativ unklar war, was unter einem ‚Abbau‘ von Kunststoffen wissenschaftlich zu verstehen ist. Es gab zu diesem Zeitpunkt eine Vielzahl von wissenschaftlich nicht definierten Kategorien für die gleiche technologische Vision. In Bezeichnungen wie *self-destructing plastics*, *degradable plastics*, *biodegradable plastics* oder *decomposing plastics* drückte sich die Hoffnung auf Kunststoffe aus, die auf die eine oder andere Weise durch natürliche Prozesse wieder verschwinden würden. *Degradable plastics*, auf Deutsch also ‚abbaubare Kunststoffe‘, tauchte dabei am häufigsten als Begriff auf, um diese Idee zu fassen. Ich verwende ‚abbaubare Kunststoffe‘ hier allerdings in Anführungszeichen, da die in den 1970er Jahren entwickelten Technologien gegenwärtige Industriestandards für biologische Abbaubarkeit nicht erfüllen. Heutige Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe grenzen ihre Innovationen explizit von diesen Materialien ab und unterstützen politische Verbotsverfahren für Stoffe, die nicht den etablierten Industriestandards entsprechen. Dennoch verorte ich den Ausgangspunkt des Marktinnovationsprozesses in der Diskussion um ‚abbaubare Kunststoffe‘ am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren, da hier erstmals der Wunsch und das Versprechen aufkam, Kunststoffe mit dem natürlichen Stoffkreislauf kompatibel zu machen. Die Entwicklung von Biokunststoffmärkten gründet, so die These, zum Teil auf einem ökologischen Wertversprechen, das in dieser Zeit seinen Ursprung findet.

Das Kapitel geht in drei Schritten vor. Im ersten Teil des Kapitels (3.1.) argumentiere ich, dass die Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ wesentlich im Wandel der kulturellen Bedeutung von Kunststoffen um das Jahr 1970 gründet, als eine ‚grüne‘ Wertigkeitsordnung im kulturellen Repertoire moderner Industriegesellschaften an Bedeutung gewann. Dieser Wandel lässt sich an den mit Kunststoffen verknüpften Zukunftsnarrativen ablesen. Das Kapitel untersucht, wie sich die öffentliche Wahrnehmung des Verhältnisses von Kunststoff und Zukunft veränderte, als der Schutz der Umwelt an Bedeutung gewann. Anhand der Publikationen des Ökologen Barry Commoner arbeite ich das Ideal des geschlossenen Kreislaufs als Kern der ‚grünen‘ Konvention heraus. Im zweiten Teil (3.2.) beschreibe ich, wie als Reaktion auf die zunehmende ökologische Kritik an

Kunststoffen die technioptimistische Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ entstand. Hier arbeite ich heraus, wer die Idee der ‚Abbaubarkeit‘ in den Diskurs um die Zukunft der Kunststoffe einbrachte, welche Forschungsstrategien verfolgt wurden, um Kunststoffe ‚abbaubar‘ zu machen, und welches Wertversprechen mit der Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ verknüpft wurde. Im letzten Teil (3.3.) untersuche ich die Erwartungen an ‚abbaubare Kunststoffe‘ in der Öffentlichkeit und in der Kunststoffindustrie bzw. in der Berichterstattung in Industriemagazinen. Auf welche Resonanz stieß die Idee ‚abbaubarer Kunststoffe‘ in den frühen 1970er Jahren?

3.1. Von utopischen zu dystopischen Stoffen

Der Gegenstand dieses Abschnitts ist der Wandel der kulturellen Bedeutung von Kunststoffen zwischen der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts und dem Zeitraum um 1970, den ich anhand der mit Kunststoffen verknüpften Zukunftsnarrativen rekonstruiere. Der im ersten Abschnitt (3.1.1.) vorgenommene Gang durch die Kulturgeschichte der Kunststoffe bis in die 1960er Jahre mit Zuspitzungen auf eben diese Zukunftsnarrative ist notwendig, um den Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren als Einsatzpunkt der technologischen Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ zu begreifen. Ich beziehe mich hier vor allem auf geschichtswissenschaftliche Sekundärliteratur, welche die Kultur- und Technikgeschichte der Kunststoffe mit Fokus auf die USA und Deutschland bereits umfänglich aufgearbeitet hat (u.a. Meikle 1995; Westermann 2007). Mit ihrer Hilfe lässt sich zeigen, dass bis in die 1960er Jahre ein fortschrittoptimistisches Narrativ der Kunststoffindustrie die kulturelle Bedeutung von Kunststoffen prägte. Gewissermaßen nebenbei will ich hier ein grundsätzliches Verständnis für die Kunststofftechnologie, ihre Anwendungsbereiche und die Eigenschaften schaffen, aufgrund derer Kunststoffe als neue synthetische Materialien im 20. Jahrhundert zuallererst Wertigkeit zugeschrieben wurde. Im Anschluss daran widme ich mich der kulturellen Bedeutung von Kunststoffen im Kontext ökologischer Krisendiskurse seit den späten 1960er Jahren (3.1.2.). Im Gegensatz zur Kunststoffindustrie, die Kunststoffe mit einem fortschrittoptimistischen Narrativ assoziierte, formierte sich zwischen den 1960er und 1970er Jahren eine neue Krisengemeinschaft, die Kunststoffe mit einem ökologischen Katastrophenszenario verknüpfte. Im Kontext eines neuen ökologischen Denkens und angesichts zunehmend sichtbarer Kunststoffabfälle entwickelten sich Kunststoffe um 1970 zu dystopischen Stoffen. Kunststoffe wurden nun zunehmend mit Bezug auf eine ‚grüne‘ Konvention kritisiert und im Hinblick auf ihre Interaktion mit der natürlichen Umwelt an ihrem ‚Lebensende‘ bewertet.

3.1.1. Kunststoffutopien im 20. Jahrhundert

Die Geschichte der Kunststoffe reicht zurück bis in die frühe Industrialisierung im 19. Jahrhundert. In dieser Frühphase entwickelten Forscher wie Alexander Parkes, William Hyatt oder Charles Goodyear Herstellungsverfahren, mit deren Hilfe makromolekulare Naturprodukte wie Zellulose oder Leinöl in neue halbsynthetische Materialien wie Zelluloid oder Linoleum umgewandelt werden konnten. Als Einsatzpunkt des eigentlichen ‚Kunststoffzeitalters‘ gilt allerdings die Beschreibung einer Theorie der Makromoleküle durch Hermann Staudinger im frühen 20. Jahrhundert (Krätz 1985: 10) und die Synthese und industrielle Produktion der ersten vollsynthetischen Kunststoffe wie Bakelit. Während Kunststoffen wie Zelluloid ein natürlicher Ursprungsstoff zu Grunde lag, gelang es dem Chemiker Leo Hendrik Baekeland, einen vollsynthetischen Kunststoff aus den Molekülen Phenol und Formaldehyd herzustellen und ihn industriell verwertbar zu machen (Selmayr 1985: 54ff.). Allerdings musste die Entwicklung synthetischer Kunststoffe bis in die 1920er Jahre ohne eine wissenschaftliche Theorie über deren Aufbau und Synthese auskommen. Die Erfolge der frühen Kunststoffentwicklung basierten zu großen Teilen auf Spekulation ihrer Erfinder und purem Zufall (Tschimmel 1989: 77). Erst die Theorie der Makromoleküle von Hermann Staudinger legte die wissenschaftliche Grundlage für die Polymerisation, also die gezielte Synthese von Kunststoffen. Deren Anzahl und Anwendungsbereiche nahm seit den 1930er Jahren stetig zu. Dem Phenolharz Bakelit folgte die Synthese und industrielle Produktion der ersten Vinylpolymere wie Polyvinylchlorid (PVC) und Polystyrol (PS), später dann die ersten Polyolefine, wie Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), und Polyamide, z. B. Nylon und ab den 1940er Jahren die ersten Polyester, z. B. Polyethylenterephthalat (PET).

Neben ihrer praktischen Verwendung als Werkstoffe in immer vielfältigeren Anwendungsbereichen waren Kunststoffe immer auch Träger symbolischer Bedeutung (Meikle 1995; A. Westermann 2007). So wurden die ersten Kunststoffe im 19. Jahrhundert zunächst noch als Substitute für natürliche Materialien wie Harz, Elfenbein, Holz, Schildplatt oder Horn entwickelt und vermarktet (Meikle 1995: 10). Als Substitute sollten sie sowohl in der Funktion den natürlichen Materialien möglichst nahekommen und sie auch in ihrer äußeren Erscheinung imitieren. Mit der Entwicklung der vollsynthetischen Kunststoffe im frühen 20. Jahrhundert änderte sich allerdings die imaginative Aufladung von Kunststoffen. Jetzt wurden sie von ihren Erfindern nicht mehr als Imitate oder Substitute, sondern als etwas radikal Neues beworben, von

den Naturstoffen abgegrenzt, für ihre Unnatürlichkeit gepriesen und mit dem Narrativ einer besseren Zukunft durch Kunststofftechnologie verknüpft (ebd.: 12; Bensaude-Vincent und Simon 2012: 24f.).

Vor allem das Marketing als Instrument zur Erzeugung ‚imaginativer Werte‘ (Beckert 2011) trug zu dieser kulturellen Umdeutung der Kunststoffe bei. Ein eindrückliches Beispiel dafür stellt *The Story of Bakelite* dar, die der Publizist John Mumford für Baekeland zur Vermarktung von Bakelit entworfen hatte. Diese Kampagne stilisierte Bakelit zum „Material of a Thousand Uses“ und brachte es mit Vorstellungen von materiellem Überfluss in Verbindung (Bensaude-Vincent und Simon 2012: 23; Meikle 1995: 58ff.). In Abgrenzung zu den Naturstoffen propagierte Mumford insbesondere die ‚Unsterblichkeit‘ des Bakelits, das ‚bis zum Jüngsten Gericht‘ allen Kräften wie ‚Hitze und Kälte, Zeit und Gezeiten, Säure und Lösungsmittel‘ (zit. in: Meikle 1995: 61) trotzen würde. Hier klang bereits die transformative, welterneuernde Kraft an, die den synthetischen Stoffen von ihren Erfindern von nun an zugeschrieben wurde. Insbesondere ihre Dauerhaftigkeit und Unzerstörbarkeit wurden als zentrale Qualitätsmerkmale gegenüber den alten Naturstoffen hervorgehoben. Das galt bereits für das halbsynthetische Zelluloid, das als ‚generationenüberdauerndes Material‘ (ebd.: 15) beworben wurde, und vielmehr noch für die ihm folgenden vollsynthetischen Kunststoffe. Kunststoffe, so das Narrativ der Kunststoffchemiker, waren den natürlichen Materialien vor allem deswegen qualitativ überlegen, weil sie dem Zerfallsprozess der Natur entgehen und in Ewigkeit fortbestehen.

Neben ihrer ‚Unsterblichkeit‘ zeichneten sich Kunststoffe im Vergleich zu den natürlichen Stoffen durch ihre Wandlungsfähigkeit und ihre unbegrenzte Formbarkeit aus. Im Begriff ‚Plastik‘ kommt diese Qualität auf den Begriff. Aufgrund seiner Formbarkeit räumte der französische Philosoph und Schriftsteller Roland Barthes dem Plastik einen Platz in seinen modernen Alltagsmythen ein (Barthes [1957] 1970). Auf einer Kunststoffausstellung in den 1950er Jahren beobachtete Barthes, nicht frei von Unbehagen an den synthetischen Stoffen, eine „ideale[] Maschine“, die aus „einem Haufen grünlicher Kristalle“ mühelos „glänzende kannelierte Schalen“ (ebd.: 79) produzierte. Ihm erschien Plastik daher als „alchemistische Substanz“, als „magische Materie“ (ebd.: 81), aus der immer neue „perfekte Gegenstände“ entstehen, ein Material mit dem letztlich die gesamte Welt plastifiziert werden könne. Barthes sah im Plastik „weniger eine Substanz als vielmehr die Idee ihrer endlosen Umwandlung, es ist, wie sein gewöhnlicher Name anzeigt, die sichtbar gemachte Allgegenwart...das Wunder ist allemal eine plötzliche Konvertierung der Natur“ (ebd.: 79).

Sowohl ihre *Stabilität* gegenüber natürlichen Zerfallsprozessen als auch ihre *Plastizität* evozierten also die Vorstellung, man könne mit Kunststoffen die von der Natur gesetzten Begrenzungen der materiellen Welt überwinden. Kunststoffförderer propagierten in ihren Veröffentlichungen immer wieder diese Möglichkeit der Transzendenz des Natürlichen (Meikle 1995: 69). Dabei sind diese Überschreitungsvorstellungen der Kunststoffförderer auch Ausdruck einer grundlegenden naturwissenschaftlichen Fortschrittsorientierung in der aufkommenden chemischen Wissenschaft im 19. und 20. Jahrhundert. Das Werk *Chemistry Triumphant* von William Hale, dem Leiter der Abteilung organische Chemie beim US- Chemieunternehmen *Dow Chemical*, gibt hierzu eindrückliche Beispiele. Im *Futur II* formulierte Hale seine Vision einer Welt, in der alles Natürliche ersetzt worden ist durch chemische, dem ‚menschlichen Genius und Fleiß entsprungene Adaptionen‘ (Hale 1932: 72). In den Schlussworten seines Buches bringt Hale das fortschrittsoptimistische Narrativ der chemischen Wissenschaft in den 1930er Jahren auf den Punkt:

„Endless are the possibilities and entrancing beyond words the hopes of origination. (...) At last the awakening – the triumph of man in a chemical world. Everything his heart can desire, all manner of novelties his imagination can picture, lie in the powers of his master. (...) Thus is chemistry triumphant. To scientists in general it is the unfolding of nature’s forces, but to the chemist it is the atonement so long awaited, when nature and man could effect that which only nature heretofore controlled. In the Devine plan this stage must have been predestined. Today we are at the threshold. Tomorrow a new life begins“ (ebd.: 149ff.).

Neben diesen naturwissenschaftlichen Fortschrittsvorstellungen, die das Verhältnis von Mensch und Natur neu interpretierten, erzeugte die industrielle Kunststoffchemie aber auch ganz praktische Hoffnungen auf die Unabhängigkeit von begrenzten und daher teuren, natürlichen Ressourcen. Gerade in den ökonomisch unsicheren Zeiten der 1930er und 1940er Jahren kündigten Kunststoffhersteller die Produktion einer unerschöpflichen Menge an günstigen synthetischen Materialien aus den scheinbar grenzenlosen Ressourcen Kohle und später Erdöl, Wasser und Luft an, und versprachen damit auch ökonomischen Aufschwung, Wohlstand und Stabilität (König 2000: 415; Meikle 1995: 106). Gerade die Werbung für Kunststoffprodukte aus Nylon, etwa für die berühmten Nylonstrümpfe, bediente sich zur Vermarktung von Kunststoffen dem Sehnsuchtsbild von Überfluss und Wohlstand (Bensaude-Vincent und Simon 2012: 28).

Die Vorstellung, mit Kunststoffen naturwissenschaftlichen Fortschritt und ökonomischen Wohlstand realisieren zu können, regte Chemiker, Designer und Marketingfachleute auch zu größeren Visionen zukünftiger Gesellschaftsordnungen an. Dabei fanden beide Qualitätsmerkmale

der Kunststoffe, ihre Unzerstörbarkeit und ihre Plastizität, Ausdruck in dem was der Historiker Jeffrey Meikle als „plastic utopianism“ (Meikle 1995: 68) bezeichnet. Dieser Kunststoff-Utopismus, der die neuen Materialien und ihre technischen Eigenschaften mit Vorstellungen einer idealen Gesellschaftsordnung in Verbindung brachte, konkretisierte sich in zwei historischen Phasen. In der Frühphase der synthetischen Kunststoffe zwischen den 1920er und 1940er Jahren herrschte ein besonders enthusiastischer, nach Meikle sogar ‚naiver Optimismus‘ (Meikle 1995: 73), den eine *stabilitätsorientierte Kunststoffvision* kennzeichnete. Polymerchemiker und Kunststoffvermarkter propagierten Kunststoffe als unzerstörbare Bausteine einer wissenschaftlich kontrollierbaren, sozial stabilen und demokratischen Gesellschaftsordnung, in der die materielle Knappheit, die in der Vergangenheit immer wieder zu sozialer Ungleichheit und Krieg geführt hatte, eliminiert sein würde. Anstelle von Krieg und Ungleichheit versprachen die Kunststoffingenieure eine Zukunft des ‚demokratischen Luxus‘, in einer neuen, befriedeten und geordneten Welt, die ebenso beständig sein würde, wie der erste vollsynthetische Kunststoff Bakelit (ebd.: 70).

In den 1940er Jahren muss dieser stabilitätsorientierte Kunststoff-Utopismus auch vor dem Hintergrund der Erfahrungen des Zweiten Weltkriegs betrachtet werden. Die kriegsbedingte Nachfrage nach Materialien für militärische Zwecke hatte die Expansion der Produktionskapazitäten für synthetische Kunststoffe massiv forciert. Während zuvor zwar kleine Produktionsanlagen für Polyethylen, Polystyrol, PVC oder Nylon in den USA, Deutschland und Großbritannien existierten, brachte erst das Kriegsgeschehen die Kunststoffproduktion auf ein massenmäßiges Niveau. Im Rückblick gilt der Zweite Weltkrieg daher als „the forcing house“ (Kaufman 1963: 74) der Kunststoffentwicklung im 20. Jahrhundert. Die Verwendung der Kunststoffe im Kriegseinsatz, z. B. als Material für Fallschirme oder elektronische Geräte, erforderte, dass sie resistent gegenüber natürlichen Verfallsprozessen waren. Im Kontext des Kriegs entstand daher auch ein Zweig in der Polymerforschung, der sich mit mikrobiologischen Zerfallsprozessen von Kunststoffen auseinandersetzte, und das Ziel verfolgte, die natürliche Zersetzung von Kunststoffen durch den Einbau von Stabilisatoren zu verhindern. Stabilität war das oberste Ziel der Kunststoffingenieure (Eggins et al. 1971; Haldenwanger 1970; Schwartz 1963; Wessel 1964).

Der Zweite Weltkrieg stellte aber nicht nur den historischen Kontext für die praktische Erhöhung der Produktionskapazitäten dar. Das Erleben von Unsicherheit und Zerstörung bildete auch einen

besonderen Erfahrungsraum, vor dessen Hintergrund Kunststoffe als Fundament einer neuen geordneten Gesellschaft imaginiert wurden. Ablesen lässt sich dieser Zusammenhang zum Beispiel in dem 1941 veröffentlichten Buch der englischen Kunststoffchemiker Victor Yarsley und Edward Couzens. Am Ende ihres Einführungsbandes in die neue Materialklasse entwarfen sie die Utopie einer vollkommen plastifizierten Welt, in der die unhygienischen Verhältnisse der Vorkriegszeit und die Zerstörungen des Krieges überwunden sein würden. In ihren bildhaften Beschreibungen brachten sie die technophile, stabilitätsorientierte Kunststoffvision der frühen 1940er Jahre auf den Punkt:

„When the dust and smoke of the present conflict have blown away and rebuilding has well begun, science will return with new powers and resources to its proper creative task. Then we shall see growing up around us a new, brighter, cleaner and more beautiful world, an environment not subjected to the haphazard distribution of nations' resources but built to order, the perfect expression of the new spirit of planned scientific control, the Plastics Age“ (Yarsley und Couzens 1941: 158).

In dieser auf wissenschaftlicher Planung und Kontrolle gründenden, geordneten und schönen Plastikwelt würde der sogenannte ‚Plastikmensch‘ allseits umgeben sein ‚von diesem harten, sicheren, sauberen Material, das der Mensch geschaffen hatte‘ (ebd.: 154). Es würde eine hygienische Welt entstehen, ‚frei von Motten und Rost‘, eine synthetische Welt, in welcher die Menschen nicht mehr abhängig sein würden von der ungleichen Verteilung natürlicher Ressourcen. Eine Welt, in der der Chemiker wie ein ‚Zauberer‘ alle Gebrauchsgegenstände aus einfachen chemischen Grundstoffen herstellen könne (ebd.: 158). Diese stabilitätsorientierte Kunststoffvision findet sich auch wieder in der Kunststoffwerbung der 1940er Jahre, etwa in den USA, wo Chemieunternehmen wie *Dow Chemical* ein Kunststoffimage kreierten, das ebenfalls den sauberkeits- und ordnungsstiftenden Wert der Stoffe in den Vordergrund rückte (Henthorne 2006: 89).

Kunststoff war in dieser stabilitätsorientierten Vision die Formmasse für eine sichere und materiell üppige Zukunft. Vorherrschend war dabei die Vorstellung einer generellen Plan- und Kontrollierbarkeit der Welt durch Wissenschaft und Technik. Solch ein Planungs- und Kontrolloptimismus fand sich nicht nur in den USA und England der 1930er und 1940er Jahre, sondern auch im Deutschland der frühen Nachkriegszeit. Auch hierzulande propagierte die Industrie Kunststoffe als „Schlüssel zum Fortschritt“ (A. Westermann 2007: 38), wie die Historikerin Andrea Westermann den Vorstand des Verbandes der kunststofferzeugenden Industrie zitiert. Vor allem die im Nationalsozialismus in Verruf geratene deutsche Chemieindustrie

positionierte Kunststoffe nach 1945 als Elemente einer neuen, auf Wissenschaftlichkeit und Sachlichkeit aufbauenden, technisch orientierten Moderne (ebd.: 81ff.). Die neuen Stoffe standen „für einen ökonomischen und sozialpolitisch notwendigen sowie zukunftsbejahenden gesellschaftlichen Aufbruch“ (ebd.: 59).

Solch fortschrittsoptimistische Zukunftsnarrative im Kunststoffdiskurs, wie sie in geschichtswissenschaftlichen Studien herausgearbeitet wurden, gingen allerdings, das sollte deutlich geworden sein, von der entstehenden Kunststoffindustrie selbst aus. Während diese ihre Produkte als Bausteine einer stabilen, artifiziellen, demokratischen, fortschrittsorientierten und modernen Gesellschaft überhöhte, gab es, wie schon im Text von Roland Barthes herauszuhören war, seit ihrer Erfindung immer auch Vorbehalte gegen Kunststoffe. Die kulturelle Bedeutung von Plastik war demnach immer schon höchst ambivalent; die Einführung von Kunststoffen für Dinge des alltäglichen Gebrauchs entsprechend alles andere als ein einfacher Substitutionsprozess (Bensaude-Vincent 2013: 19). Für die 1920er und 1930er Jahre beschreibt Meikle beispielsweise ein dumpfes Unbehagen an den künstlichen Stoffen, die häufig noch als Produkte ‚alchemistischer Zauberei‘ (Meikle 1995: 243) beworben wurden. Die älteste Kritik an Kunststoffen und ihrer Verwendung im Kunsthandwerk diffamierte sie als billige, mit natürlichen Stoffen qualitativ nicht vergleichbare ‚Surrogate‘. So hieß es bereits in einem Warenbuch von 1916, dass aus Kunststoffen „keine Kulturwerte entstehen. Solche Produkte sind gegen die Wahrhaftigkeit und Ehrlichkeit, wirken in gleicher Weise unsittlich und unästhetisch. (...) Dadurch wird der Sinn für das einfach Schöne und Edle unterdrückt, die Grundlage des guten Geschmacks untergraben“ (zit. in: Weißler und Tom 1985: 23f.). Die Fähigkeit der frühen halbsynthetischen Kunststoffe zur Imitation natürlicher Materialien wurde also nicht nur als konsumdemokratisierend, sondern auch als ästhetischer Makel wahrgenommen. Diese Wahrnehmung von Kunststoffen als Materialien mit geringer ästhetischer Qualität zieht sich durch die Geschichte der Kunststoffe bis in die Gegenwart hindurch (Bensaude-Vincent und Simon 2012: 23).

Die ästhetische Kritik an Kunststoffen wurde im Ersten und Zweiten Weltkrieg vor allem durch den „Ersatzdiskurs“ ergänzt, der „das utopische Moment von Plastik“, wie Westermann schreibt, „torpedierte“ (A. Westermann 2007: 59). Vor allem in Deutschland wurden Kunststoffe in der Öffentlichkeit bis lange nach dem Zweiten Weltkrieg nicht nur mit Fortschritt, sondern gleichsam auch mit der entbehreungsreichen Vergangenheit der Kriegsjahre assoziiert. Marketingfachleute der deutschen Kunststoffindustrie sprachen gar von einer „Ersatzpsychose“, die in einer geringen

Kaufbereitschaft für Kunststoffartikel zum Ausdruck kam und die Industrie zu dem Versuch veranlasste, durch Werbung „eine echte Kunststoffbegeisterung als Ausdruck eines Willens zum Besserleben“ (Weißler und Tom 1985: 36) auszulösen. Wenn auch nicht in gleichem Maße wie in Deutschland herrschte auch in den USA nach dem Zweiten Weltkrieg noch wenig Vertrauen in Kunststoffe, deren beworbene qualitative Überlegenheit gegenüber natürlichen Materialien dem Praxistest häufig nicht standhielt. Im Gebrauch waren viele Konsumenten enttäuscht von ihrer mangelnden Qualität und die Stoffe trugen auch hier noch längere Zeit das negative Image des Ersatzmaterials (Meikle 1995: 125, 166, 169). Ein von Meikle zitierter Kunststoffingenieur bringt die kulturelle Doppeldeutigkeit der Kunststoffe auf den Punkt:

„Either people celebrated plastic with ‘evangelical fervor’, expecting it to ‘solve the housing crisis, the school crisis, the transportation crisis, the urban blight.’ Or they rejected plastic goods because ‘they burn and break, they creep and fall apart outdoors, their colors are garish, and you can’t tell one plastic from another — until it’s too late’“ (ebd.: 216).

Gerade vor dem Hintergrund dieser ambivalenten kulturellen Bedeutung müssen die Kunststoffutopien der Industrie auch als Vermarktungsgeschichten verstanden werden. Neben der herrschenden Faszination für das Verfahren der Polymerisation, das die Herstellung von technisch optimierten Werkstoffen versprach, wurden die neuen, unbekanntenen und zum Teil technisch nicht ausgereiften Stoffe von der Kunststoffindustrie mit Zukunftsvisionen einer neuen und besseren Gesellschaft verbunden, um Legitimität für die junge Industrie zu generieren. Für das kunststoffskeptische Deutschland stellt der Historiker Heinz Schmidt-Bachem fest, dass es erst in den 1950er Jahren „mit Hilfe einer dynamischen Konzernpolitik der Großchemie“ gelang, eine „größere Akzeptanz der Kunststoffe als ‚Werkstoffe mit Zukunft‘ zu schaffen“ (Schmidt-Bachem 2011: 772). Neben solchen Marketingkampagnen verbesserten sich mit dem Fortschreiten der Kunststofftechnik im Laufe der Zeit zudem die technischen Eigenschaften der Stoffe, und die Vertrautheit der Konsumenten mit der neuen Materialklasse nahm zu. Dazu trug vor allem der Wandel der Produktions- und Konsumpraktiken bei, also die Etablierung von Selbstbedienung und Supermärkten, und die zunehmende industrielle Produktion von Lebensmitteln. Kunststoffe kamen jetzt zunehmend als Verpackungsmaterial zum Einsatz (Stokes, Köster und Sambrook 2013: 137).

Neben dem Wandel der Konsumpraxis waren auch technische Innovationen in der Kunststoffindustrie ausschlaggebend für die Verwendung der Stoffe im wachsenden Verpackungsmarkt. Bis in die 1940er Jahre waren Kunststoffe wie Bakelit vor allem sogenannte *Duroplaste*, die im Pressverfahren hergestellt werden. Duroplaste bestehen aus engmaschig

vernetzen Polymeren, können nur einmal in Form gebracht werden und bleiben dann über einen weiten Temperaturbereich stabil. Nach dem Zweiten Weltkrieg stiegen hingegen allmählich sogenannte *Thermoplaste* zu den neuen Massenkunststoffen auf. Diese bestehen aus unvernetzten Polymeren, sind leichter, flexibler und durch Erhitzen immer wieder neu formbar. Dazu gehören etwa die heutigen Standardkunststoffe Polyethylen, Polypropylen oder Polyethylenterephthalat. Diese technische Innovation ermöglichte die Verwendung von Kunststoffen in wesentlich größeren Anwendungsbereichen (ebd.: 144). Vor allem in der thermoplastischen Variante entwickelten sich Kunststoffe ab den 1950er Jahren „im Alltag hin zum Gewöhnlichen“ (Weißler und Tom 1985: 51).

Mit der technischen Innovation und Anwendungsausweitung veränderte sich allmählich auch die kulturelle Bedeutung der Kunststoffe (Meikle 1995: 183ff.). Während sich die stabilitätsorientierten Kunststoffvisionäre eine kontrollierte, geordnete und demokratischere Gesellschaft erträumten, entwickelten sich Kunststoffe in den Wohlstandsjahren der 1950er und 1960er Jahren immer mehr zu einem Sinnbild für eine auf Konsum und Verschwendung gründende „culture of impermanence“ (ebd.: 68). Kunststoffe wurden jetzt zunehmend zu einem Bestandteil einer neuen Wegwerfpraxis, die zunächst positiv konotiert war. So regte die Formbarkeit und die günstigen Preise der Kunststoffe bald zur Vorstellung einer Konsumpraxis an, in der Dinge des täglichen Gebrauchs schnell wieder entsorgt werden könnten. Kunststoffe versprachen die konstante Erneuerung alltäglicher Gegenstände in Anpassung an aktuelle Modetrends, eine Erleichterung des Alltagslebens und die Einsparung der Kosten für Waschen oder Reparieren. In der Nachkriegszeit dominierte „eine positive Einstellung gegenüber der Möglichkeit eines grenzenlosen Konsums, die die Visionen dieser Zeit nur auf die Spitze trieben“ (Heßler 2013: 263). Das Life Magazine feierte in einer Anzeige von 1955 beispielsweise das neue Konzept des „Throwaway Living“ und damit die Erleichterung alltäglicher Arbeit durch Wegwerfartikel (siehe Abb. 2). In der Beschreibung des Bildes, das eine junge Familie zeigt, umgeben von in der Luft herumwirbelndem Kunststoffgeschirr, hieß es etwa: „The objects flying through the air in this picture would take 40 hours to clean – except that no housewife need bother. They are all meant to be thrown away after use“ (o.A. 1955: 43).

Abb. 2: Anzeige „Throwaway Living“



Sowohl in den USA als auch in Europa setzte die Industrie seit den 1950er Jahren zunehmend auf Einwegverpackungen, z. B. für Bier, Softdrinks oder Milch (Elmore 2012), und Einwegartikel wie Kaffeebecher und Windeln (Elzinga und Mills 1996). Dabei generierte die konstante Produktion von Verpackungen und Einwegprodukten kontinuierliche Absatzmärkte für Kunststoffe. Dementsprechend propagierte die Kunststoffindustrie die Praxis des Wegwerfens: „In the words of one commentator, plastic’s future was ‘in the garbage can’“ (ebd.: 190). In Deutschland bewarben z. B. Marketingkampagnen wie die *Ex und Hopp*-Kampagne der deutschen Getränkeindustrie aus dem Jahr 1967 die Vorteile des Wegwerfens (Köster 2017: 349). Im Industriedesign regten die neuen thermoplastischen Kunststoffe ebenfalls zu phantasievollen Wegwerfvisionen an. So entwarfen Industriedesigner auf dem Höhepunkt der „thermoplastic utopian phase“ (Meikle 1995: 228) eine Zukunft, in der Kunststoffmöbel mit wandelnder Mode ausgetauscht würden und private Haushalte mit eigenen Tiefziehmaschinen den konstanten Bedarf

an Einwegkunststoffgeschirr selbst befriedigen könnten. Das Credo der thermoplastischen Utopie lautete: „(...) throw away...and make some more as needed“ (zit. in: ebd.). Insbesondere der von *Imperial Chemical Industries* in Großbritannien entwickelte Kunststoff Polyethylen, heute einer der wichtigsten Standardkunststoff im Verpackungsbereich, trug dazu bei, dass Kunststoffe zunehmend mit Einwegprodukten und Wegwerfartikeln assoziiert wurden. Wurde Polyethylen zunächst noch wie Bakelit für seine Haltbarkeit gepriesen, etwa als Material für die Herstellung von *Tupperware*, entwickelte es sich bald zum Musterbeispiel der neuen ‚Wegwerfkunststoffe‘. Insbesondere Polyethylen regte die Industrie in den 1950er und 1960er Jahren also zu neuen Wegwerfvisionen an (ebd.: 189ff.).

Zusammenfassend zeigt der Gang durch die Kulturgeschichte der Kunststoffe, dass bis in die 1960er Jahre ein von Kunststoffentwicklern und -förderern entworfenes optimistisches Zukunftsnarrativ von einer neuen und besseren Gesellschaft durch Kunststofftechnik den Diskurs prägte. Zwar war der Kunststoff-Utopismus der Industrie nie ungebrochen, Kunststoff also immer gleichsam überhöht und der Kritik unterworfen. Dennoch galten die neuen Stoffe als „modernes technisches Artefakt“ (A. Westermann 2007: 37). Dabei ist ‚modern‘, wie Westermann mit Rückgriff auf den Literaturwissenschaftler Hans Ulrich Gumbrecht prägnant beschreibt, nicht nur eine Epochenbestimmung. Modernität umfasst vielmehr auch ein bestimmtes Zeitbewusstsein, das die Gegenwart immer nur als „Durchgangspunkt“ (ebd.) zur Zukunft begreift. Der Aufstieg der Kunststoffe wurde getragen vom Versprechen einer besseren Zukunft in technischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Hinsicht. Am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren veränderten sich jedoch diese Bedeutung von Kunststoffen. Während Kunststoffe von ihren Herstellern mit optimistischen Zukunftserwartungen assoziiert wurden, verkehrte sich ihre imaginative Aufladung nun in ihr Gegenteil. Wie kam es zu diesem Wandel?

3.1.2. Kunststoffe als ökologischer Albtraum

Die Bedeutung von Kunststoffen veränderten sich am Übergang zwischen den 1960er und 1970er Jahren als in der Öffentlichkeit zunehmend über die problematischen Zusammenhänge zwischen den Produktions- und Konsumsystemen moderner Industriegesellschaften und der natürlichen Umwelt diskutiert wurde. Diese historische Phase gilt in der geschichts- und sozialwissenschaftlichen Forschung als Zeitraum, in der die steigende Belastung der Umwelt durch industrielle Produktionsprozesse und das Konsumverhalten in westlichen Gesellschaften als

ökologische Problemlagen wahrgenommen wurden (Hünemörder 2004; Kupper 2003; Luhmann 1986; Radkau 2011). Zwar lässt sich das neue Umweltbewusstsein dieser Zeit auf einen tatsächlichen Anstieg der Umweltverschmutzung seit den 1950er Jahren zurückführen. Historiker haben aber auch darauf hingewiesen, dass nicht nur tatsächliche Probleme, sondern auch deren Wahrnehmung und Diskursivierung dazu beitrug, dass die Umwelt um 1970 als besonders krisenhaft erlebt wurde (Seefried 2015: 380). Vor allem durch die Institutionalisierung von Kybernetik, Systemtheorie und Ökologie als wissenschaftliche Disziplinen hatte sich in der Nachkriegszeit ein ökologisches Denken etabliert, das die Interdependenzen zwischen Techno- und Biosphäre in den Fokus der Öffentlichkeit rückte. Ab 1970 lässt sich von einer „Ausbreitung, Ausdifferenzierung und Institutionalisierung des Ökologischen“ (Bühler 2016: 17) sprechen. Umwelthistoriker beschreiben diesen Zeitraum daher auch als „Environmental Age“ (Höhler 2015: 12) bzw. diagnostizieren eine „ökologischen Revolution“ um 1970 (Radkau 2011: 124). Die zunehmende Bedeutung der Umwelt als Thema in der Öffentlichkeit lässt sich an einer Vielzahl unterschiedlicher Entwicklungen ablesen: Der Umweltbegriff verbreitete sich im medialen und politischen Diskurs; es wurden eine Reihe von katastrophischen Zukunftsprognosen veröffentlicht, die das Wachstumsparadigma westlicher Industriegesellschaften in Frage stellten; erste internationale Umweltkonferenzen wurden einberufen; es fand eine zunehmende Institutionalisierung des Umweltschutzes in der Politik statt und es formierte sich eine neue Umweltbewegung, die die Verschmutzung der Umwelt als Thema in der Öffentlichkeit popularisierte und die zur Gründung international agierender Umweltschutzorganisationen wie *Friends of the Earth* und *Greenpeace* führte (Bühler 2016: 17f.; Radkau 2011).

Die zunehmende Bedeutung der Umwelt als öffentlich verhandeltes Thema wirkte sich nicht nur auf politische Prozesse aus, sondern beeinflusste auch die Bewertung ökonomischer Güter. Mit der Ausbreitung und Institutionalisierung des Ökologischen gewann ein ökologisches Wertprinzip im kulturellen Repertoire moderner Gesellschaften an Bedeutung, auf das Akteure nun zurückgriffen, um ökonomischen Gütern Wert zuzuschreiben. Autoren in der Theorietradition der *Économie des Conventions* haben dieses ökologische Wertprinzip als ‚grüne‘ Konvention beschrieben, die zwar historische Vorläufer hat, sich aber vor allem seit dem Aufstieg der globalen Umweltbewegung zunehmend etablierte (Lafaye und Thévenot 1993; Thévenot, Moody und Lafaye 2000). Der Schutz der Umwelt ist hier der zentrale Bezugspunkt für die Zuschreibung von Wertigkeit. In der ‚grünen‘ Konvention wird also all jenem Wert zugeschrieben, das als umweltschützend, nachhaltig,

sauber und in Harmonie mit der Natur gilt. Wertlos ist im Gegensatz dazu alles, was künstlich und dreckig ist, und eine Gefahr für den Erhalt der natürlichen Umwelt darstellt. Dabei zeichnen sich ‚grüne‘ Rechtfertigungsargumente gerade dadurch aus, dass sie sich nicht mehr nur auf die aktuell Lebenden beziehen, sondern sich durch implizite oder explizite Bezugnahmen auf zukünftige Generationen temporal ausdehnen (Thévenot, Moody und Lafaye 2000: 257). Der Erhalt der Umwelt für zukünftige Generationen ist ein wesentlicher Referenzpunkt ökologischer Wertzuschreibung. Die Bezugnahme auf die ökologische Konvention involviert daher häufig eine bestimmte Repräsentation der Zukunft als Negativszenario, das durch Handeln in der Gegenwart abgewendet werden soll (Bühler 2013: 67).

Die zunehmende Bedeutung dieser ‚grünen‘ Konvention für die Wertzuschreibung und Bewertung von Produkten der modernen Industriegesellschaft lässt sich am Beispiel von Kunststoffen veranschaulichen. Spätestens seit den 1960er Jahren konfrontierte die von der Industrie angestrebte Zukunft der Kunststoffe als Einwegverpackungen und Wegwerfartikel moderne Industriegesellschaften mit einem wachsenden Abfallproblem. Während Kunststoffe von der Industrie als Elemente einer technikorientierten Moderne beschworen wurden, die auf Fortschritt, Beherrschung der Natur, ökonomischem Wachstum, Wohlstand und Konsumdemokratisierung gründete, formierte sich jetzt eine neue Öffentlichkeit, die das Auftauchen der Kunststoffe in der Natur als Problem markierte und Kunststoffe mit einer ökologischen Negativzukunft in Verbindung brachte. Die ökologische Kritik an Kunststoffen richtete sich dabei vor allem auf jene Produkteigenschaft, die Kunststoffe im 20. Jahrhundert überhaupt erst wertvoll gemacht hatte, die sich aber nun zu einem ökologischen Zukunftsproblem entwickelte: ihre Resistenz gegenüber natürlichen Zerfallsprozessen.

Das folgende Kapitel rekonstruiert die ökologische Kritik an Kunststoffen um 1970. Dabei konzentriere ich mich zunächst auf Veröffentlichungen, in denen das Meer als Ort einer imaginierten Kunststoffkatastrophe ausgemalt wurde. Zwar wurde das Auftauchen von Kunststoffen in der unberührten Natur grundsätzlich problematisiert. Die Forderung nach ‚abbaubaren Kunststoffen‘ lässt sich allerdings, wie zeitgenössische Beobachter feststellten, vor allem „auf die (...) Diskussion um das Einbringen von Abfällen ins Meer“ (Oberbacher 1974: 16) zurückführen. In einem zweiten Schritt arbeite ich heraus, warum Kunststoffe aus der Perspektive von Umweltschützern nicht nur ein Problem unter vielen anderen darstellten, sondern auch symbolisch für eine Gesellschaft standen, die nicht nach ökologischen Prinzipien organisiert ist.

Dazu greife ich auf Publikationen des US-amerikanischen Biologen Barry Commoner zurück, der in den frühen 1970er Jahren sowohl zu den bekanntesten Umweltaktivisten zählte und in der Öffentlichkeit als einer der vehementesten Kunststoffkritiker auftrat. Anhand von Commoners Publikationen lässt sich herausarbeiten, was *genau* im Rahmen der ‚grünen‘ Konvention als wertvoll und umweltverträglich bewertet wurde und warum Kunststoffe für Commoner daher keine zukunftsfähige Technologie darstellten.

Kunststoffe als Meeresverschmutzung

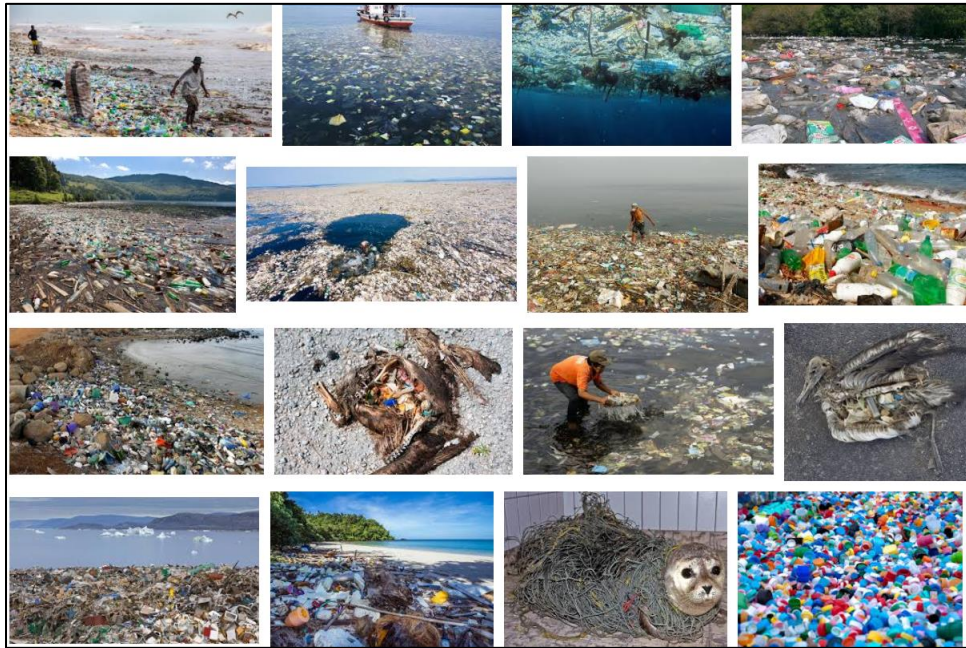
Damit ein Sachverhalt in der Gesellschaft als Problem wahrgenommen wird, muss sich eine Öffentlichkeit formieren, die diesen Sachverhalt zu allererst problematisiert. Im theoretischen Teil der Arbeit habe ich darauf hingewiesen, dass Krisendiagnosen immer darauf angewiesen sind, dass einzelne Akteure eine ‚Krisengemeinschaft‘ bilden (Milstein 2015: 151). Zwischen den 1960er und 1970er Jahren formierte sich eine solche Krisengemeinschaft aus Wissenschaftlern, Umweltaktivisten, Konsumenten und Politikern, die Kunststoffe aufgrund ihrer unsachgemäßen Entsorgung in der Umwelt als Problem markierten. Kunststoffe gerieten in diesem Zeitraum also zunächst vor allem deshalb in Kritik, weil sie als Material für Verpackungen als *Litter* in der natürlichen Umwelt auftauchten. Gerade im sichtbaren Kunststoffabfall in der Natur trat die künstliche Materialität des Plastiks in den Vordergrund und provozierte Kritik an den synthetischen Stoffen.

Dabei stand das Meer als paradigmatischer Ort für die imaginierte Kunststoffkatastrophe. Gerade das Auftauchen der Kunststoffe in Form von Verpackungsresten im Meer und an Stränden führte zu einer neuen Sichtweise auf das Verhältnis von Kunststoff und Zukunft. Heute bilden Ozeane und Meere *den* dominanten Imaginationsraum für die Kunststoffkatastrophe. Das zeigt schon eine einfache Bildersuche bei Google nach dem Stichwort „Plastikmüll“ (siehe Abb. 3).⁷ Hier wird eine Masse an Bildern von vermüllten Stränden, toten Meeresvögeln mit Kunststoff-Innereien, in Fischernetze eingewickelte Robben oder im Wasser treibende Plastiktüten zu Tage gefördert. Plastikmüll schwimmt im Meer, liegt an Stränden, tötet Meeresbewohner und kehrt als

⁷ Ich bin mir bewusst, dass die Stichwortsuche in Google personalisiert ist und daher nicht jede Eingabe dieselben Resultate liefert. Das Bild dient hier lediglich als Veranschaulichung. Weitere Anhaltspunkte für die Verortung der Kunststoffkatastrophe in den globalen Weltmeeren liefern auch politische Kampagnen (z. B. die Kampagne „Wir haben die Schnauze voll“ des WWF, die einen Delfin mit Einwegkunststoffabfällen zeigt, oder auch die im aktuellen Diskurs um Kunststoffabfälle immer wieder zitierte Prognose, dass im Jahr 2050 gewichtsmäßig mehr Kunststoffe als Fische in den Meeren zu finden sein werden (Ellen McArthur Foundation 2016).

Mikroplastik auf unsere Teller zurück. Das sind die Assoziationen, die sich gegenwärtig als Bild in der medialen Öffentlichkeit verfestigt haben. Einige Umweltaktivisten ordnen die Verschmutzung der Meere durch Kunststoffe heute als zweite große Umweltkatastrophe neben dem Klimawandel ein (Laville und Taylor 2017).

Abb. 3: Google-Suche nach „Plastikmüll“



Zwar scheint sich die Kunststoffverschmutzung in den globalen Weltmeeren erst in den letzten Jahren zu einem öffentlich verhandelten Problem entwickelt zu haben. Untersucht man allerdings den Ursprung der Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ zeigt sich, dass Wissenschaftler bereits am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren auf das problematische Aufeinandertreffen von Meer und Kunststoff aufmerksam gemacht hatten. In dieser Zeit waren Forscher bei ihrer Arbeit an Küsten und auf offener See unverhofft mit den Überresten der ‚Wegwerfgesellschaft‘ in Berührung gekommen (De Wolff 2014). Forscher wie Thor Heyerdahl, Edward Carpenter, K.L. Smith oder Elizabeth Venrick trugen ihre Beobachtungen von Kunststoffabfällen in den Meeren in naturwissenschaftlichen Zeitschriften wie *Nature* und *Science* und auf ersten Konferenzen zur Umweltverschmutzung in die Öffentlichkeit. Ihre Beobachtungen von Kunststoffabfällen in marinen Umgebungen veranlasste die Wissenschaftler zur Formulierung alarmierender Zukunftsvorstellungen, die Verbindungslinien hervorhoben zwischen der gegenwärtigen Konsum- und Wegwerfpraxis moderner Gesellschaften und der Zukunft des Meeres als Lebensraum.

Gemeinsam war den Wissenschaftlern, dass sie zunächst nicht speziell an Kunststoffen interessiert waren, als sie zu ihren Forschungsprojekten an Küsten und auf das offene Meer aufbrachen. Dennoch waren einige Forschungsprojekte bereits durch ökologische Interessen motiviert, die den Einfluss der Industriegesellschaft auf die Umwelt untersuchen sollten. So wollten Carpenter und Smith z. B. den Einfluss eines Atomkraftwerks auf die Fauna küstennaher Gebiete in Neuengland erforschen; Venrick hingegen die Auswirkungen chemischer Düngemittel auf das Wachstum von Plankton im Pazifik. Heyerdahls Forschungsinteresse war anthropologisch-kulturwissenschaftlicher Art. So wollte er einen frühen Kontakt zwischen nordafrikanischen und südamerikanischen Gesellschaften beweisen. Während ihrer Arbeit in der marinen Umgebung wurden jedoch alle Forscher mit Kunststoffabfall konfrontiert. Dabei herrschte zu diesem frühen Zeitpunkt unter den Forschern noch keine Einigkeit darüber, welches Problem die Kunststoffe im Meer eigentlich darstellten. Venrick und ihrer Kollegen begriffen die Kunststoffverschmutzung vor allem als ästhetisches Übel (Venrick et al. 1973: 271). Diese Einschätzung teilten auch Autoren des *Marine Pollution Bulletin*, das 1970 in England speziell gegründet worden war, um die Verschmutzung der Meere stärker in den Fokus öffentlicher Aufmerksamkeit zu rücken. In einem Artikel im *Marine Pollution Bulletin* wurden Kunststoffe im Meer dementsprechend als „safe pollutants“ und „eyesore and public nuisance“ (o.A. 1970a: 130) bezeichnet. Diese ästhetische Dimension der Kunststoffverschmutzung sei, so Venrick, „difficult to evaluate and easy to ignore“ (Venrick et al. 1973: 271).

Andere Forscher sahen in den Kunststoffen allerdings eine weitaus größere Bedrohung. Carpenter und Smith machten darauf aufmerksam, dass möglicherweise die Weichmacher in Kunststoffen, also polychlorierte Biphenyle, von Meeresorganismen aufgenommen werden und somit einen gesundheitlichen Schaden für Tiere und in letzter Konsequenz den Menschen bedeuten könnten (Carpenter und Smith 1972: 1241). Angesichts der zu erwartenden Langzeiteffekte der Meeresverschmutzung warnte auch der Meeresbiologe J. David George in seinem umfassenden Bericht *Can the seas survive?* im 1970 gegründeten Umweltmagazin *The Ecologist* vor den Weichmachern in Kunststoffprodukten, die ‚über lange Zeit beständig seien, ohne biologisch in eine harmlose Form abgebaut zu werden‘ (George 1971: 6). Der Anthropologe Thor Heyerdahl sah in den Kunststoffflaschen und -fasern, die ihm auf seiner Forschungsreise über den Atlantik begegneten, nur den sichtbaren Teil einer viel weitgehenderen und gefährlicheren Meeresverschmutzung, die durch unsichtbare Giftstoffe drohe. Leere Verpackungen und Flaschen

in den Meeren deuteten für ihn vor allem auch auf deren giftige Inhalte hin, die bereits ins Meer geflossen seien (Heyerdahl 1972: 287).

Unabhängig von der genauen Problemdefinition zeigten sich aber alle Forscher alarmiert über ihre Beobachtung der Meeresverschmutzung und die Zukunftsaussichten, die dies implizierte. Autoren des *Marine Pollution Bulletin* schrieben in einer der ersten Ausgaben, dass „discarded plastic waste materials in this age when most things are disposable, are accumulating alarmingly on land, in freshwater, and, not least, in the sea, and they look as if they may stay forever“ (o.A. 1970a: 130). Auch Venrick und ihre Kollegen empfanden es als ‚alarmierend, dass Wegwerfartikel nun schon die abgelegensten Regionen des Ozeans vermüllen‘ und verwiesen auf zukünftige Generationen, die nur noch ein ‚Kunststoffmeer‘ auffinden würden, sollte sich an der Entsorgungssituation für Kunststoffe nichts ändern (Venrick et al. 1973: 271): „[U]nless we find adequate means of disposing of our plastics soon, we can anticipate that the ‘Wynkin, Blynkin and Nod’ of our children will set sail into a plastic sea, accompanied by the ‘no deposit – no return’ products of our technology“ (ebd.). Und auch Heyerdahls besorgniserregendes Resümee aus seiner Forschungsreise versprach nichts Gutes für die Zukunft: „I started out this voyage to get a glimpse into man’s past, but I got just as much of a glimpse into man’s future. I was scared“ (Moore 1971: 81), ließ er in einem Interview im *Life Magazine* verlauten. Der sorgenvolle Blick in die Zukunft ließ Kunststoffe nicht mehr als fortschrittliche Technologie erscheinen und konterkarierte damit das optimistische Narrativ der Kunststoffindustrie.

In Anbetracht der wahrgenommenen Bedrohungslage waren auch nationale Regierungen und die Vereinten Nationen auf das Problem der Meeresverschmutzung aufmerksam geworden. Im Anschluss an die erste *UN Conference on the Human Environment* im Jahr 1972 fand in London ein Treffen internationaler Regierungen statt, bei der ein erstes Abkommen zum Schutz der marinen Umwelt versabschiedet wurde. Die sogenannte *London Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter* sollte die bisher praktizierte wahllose Entsorgung von Abfällen, die eine Gefahr für die menschliche Gesundheit, marine Lebensformen oder die Nutzung des Meeres durch die Fischerei darstellte, verhindern (International Maritime Organization 1972). Dazu wurden Listen mit Stoffen erstellt, die entweder gar nicht oder nur unter gewissen Umständen in den Weltmeeren entsorgt werden durften. Weil Kunststoffe aufgrund ihrer Leichtigkeit an der Meeresoberfläche schwimmen und daher die ‚legitime Nutzung‘ der Meere durch Fischerei und Seefahrt beeinträchtigen könnten, wurden sie auf die erste Liste von Stoffen

gesetzt, die gar nicht im Meer entsorgt werden sollten, damit aber auch in die gleiche Gefahrenklasse eingruppiert wie Pflanzenschutzmittel, Erdöl oder radioaktive Abfälle (ebd.: 11). Der Polymerforscher Bonifaz Oberbacher vom deutschen Battelle-Institut vermutete Mitte der 1970er Jahre, dass diese Einordnung von Kunststoffen in die gleiche Gefahrenklasse wie weitaus toxischere Substanzen auch dazu beigetragen haben könnte, dass sich die Wahrnehmung von Kunststoffen als besonders „umweltfeindlich“ in der Öffentlichkeit verfestigte (Oberbacher 1974: 16).

Dass Kunststoffe unter Konsumenten, Abfallexperten, Politikern und in der medialen Berichterstattung in westlichen Industrieländern jetzt als ökologisches Krisenphänomen definiert wurden, lässt sich an einigen Veröffentlichungen aus dieser Zeit beispielhaft veranschaulichen. In Deutschland beschworen beispielsweise Abfallexperten und Journalisten in den frühen 1970er Jahren ein „öffentliche[s] Katastrophenszenario des Mülls“ (Keller [1998] 2009: 103). Dabei wurden Kunststoffe in der Berichterstattung immer wieder als besonders problematisches Element der Abfallmassen hervorgehoben (o.A. 1971a; 1970b: 88). Auch die vielen Briefe, die deutsche Bürger an das *Bundesinnenministerium* richteten und in denen sie ihren Missmut über Kunststoffabfälle äußerten, sind eindrückliche Anzeichen dafür, dass das Problembewusstsein für die synthetischen Stoffe in den 1970er Jahren zunahm (A. Westermann 2013: 485f.). Der Abfallexperte Hans Reimer, der in seinem populären Sachbuch *Müllplanet Erde* die dystopische Aussicht eines bevorstehenden „Abfallerstickungstod“ (Reimer 1971: 39) ausmalte, hob Kunststoffe ebenfalls als besonders umweltfeindlich hervor. So sollte laut Reimer der „Kampf gegen den Abfall (...) im wesentlichen (sic!) gegen Auswüchse der Kunststoffverwendung oder gegen bestimmte Eigenschaften der Kunststoffe geführt werden“ (ebd.: 62). Und auch Lokalpolitiker warnten in drastischen Beschreibungen davor, dass „die Menschen eines Tages nur noch in (sic) Müll leben. Reale Vision: Müllberge – in ihnen laufen Ratten herum mit menschlichem Gesicht. Sie kauen auf Plastikflaschen“ (Lampe, zit. in: Köster 2017: 238).

Auf ähnliche Weise warnten auch in England Parlamentsabgeordnete davor, dass „plastic itself will become a major pollution problem in the near future“ (Hansard 1971: 504). Vor allem das Meer würden sich zu einem „floating plastic container in the next 10 years“ (ebd.) entwickeln. Der britische Umweltminister Peter Walker sprach eine Warnung an die britische Kunststoffindustrie aus, die für einen Großteil des Litters verantwortlich gemacht wurde (Aldous 1971: 4). Und auch in Großbritannien nahm die mediale Berichterstattung zu, die Kunststoffe mit einer

katastrophischen Zukunft in Verbindung brachte. So waren britische Zeitungsleser jetzt immer häufiger mit Schlagzeilen wie „Nightmare of a throwaway era“ (Lee 1968: XI), „Threats from plastic“ (o.A. 1969: 16) oder „Pollution experts say mankind is doomed“ (Symon 1972: 2) konfrontiert.

Ähnlich wurden auch in den USA jetzt zunehmend öffentlich Stimmen laut, die Kunststoffe als ökologische Gefahr und als Übel der modernen Gesellschaften definierten. Wie der Historiker Jeffrey Meikle feststellt, etablierte sich in den späten 1960er Jahren vor allem in der amerikanischen Gegenkultur eine kunststoffabweisende Haltung und „plastic“ avancierte in der Öffentlichkeit zu einem Schlüsselbegriff von Technik- und Konsumkritik (Meikle 1995: 260). Für den Autor Norman Mailer waren Kunststoffe beispielsweise ‚Symbole der Dekadenz und der Selbstzerstörung einer hochtechnologisierten Gesellschaft‘. In seinen Artikeln und Büchern zog er in einen öffentlichen Feldzug gegen die synthetischen Materialien, die für ihn ‚die technokratische Mentalität der Präzession und Effizienz‘ verkörperten und eine Welt hervorgebracht hätten, in der ‚alle leben, aber niemand atmen‘ (zit. in: Meikle 1995: 244) könne. Auch für den Autor Charles Reich war das Leben „plastic“ geworden, das heißt, „false to our genuine needs“ und abhängig von „artificial things“ (zit. in: ebd.: 261). Sein populäres Buch *Greening of America* zeichnete daher das Zukunftsbild einer Gesellschaft, die ‚nicht mehr länger dazu verdammt wäre, in Plastik eingehüllt zu sein‘ (zit. in: ebd.). Nach dem ersten *Earth Day* im Jahr 1970, bei dem sich über zwanzig Millionen Menschen an Aktionen gegen Umweltverschmutzung beteiligten, steigerte sich auch in den USA die negative Wahrnehmung der Kunststoffe soweit, dass „insiders feared the crisis might ‚really end the industry““ (ebd.: 264). In einer für die Verschmutzung der Umwelt sensibilisierten Öffentlichkeit erschienen Kunststoffe nicht mehr als fortschrittliche, sondern vielmehr als bedrohliche Technologie.

Dabei wurden Kunststoffe, wie die vorangegangenen Abschnitte zeigen, am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren nicht einfach nur als ein ökologisches Problem unter vielen anderen kritisiert. Vielmehr standen Kunststoffe auch symbolisch, gewissermaßen *pars pro toto*, für eine industrialisierte Gesellschaft, die nicht nach umweltverträglichen Maßstäben operiert. Umweltverträglichkeit an sich ist allerdings eine relativ unspezifische Qualität. Was genau im Rahmen der ‚grünen‘ Konvention als wertvoll definiert wurde, und warum Kunststoffe daher als besonders umweltfeindliche Technologien definiert wurden, will ich im Folgenden anhand einer

Lektüre der Publikationen des Biologen und Umweltaktivisten Barry Commoner veranschaulichen.

Kunststoff als Widerspruch zum natürlichen Kreislauf

Barry Commoner war Mikrobiologe und Professor für Pflanzenphysiologie an der *Washington University* und Gründer des *Center for the Biology of Natural Systems*. Er war jedoch nicht nur Wissenschaftler, sondern ebenso ein politischer Aktivist der frühen amerikanischen Umweltbewegung (Meikle 1995: 264f.). Der Historiker Joachim Radkau bezeichnet ihn gar als „Führer des neuen kämpferischen environmentalism“ (Radkau 2011: 144). Neben dem Bericht zu den *Grenzen des Wachstums* (Meadows et al. 1972) und Paul Ehrlichs *Population Bomb* (Ehrlich 1968), der anderen auflagenstarken katastrophischen Prognose dieser Zeit, trugen Commoners Publikationen und Vorträge wesentlich zur Definition der Umwelt als Krisenphänomen bei.

Als Ursache der Umweltkrise machte Commoner vor allem den ‚radikalen‘ technologischen Wandel seit dem Zweiten Weltkrieg verantwortlich. Die Gefahr für die Umwelt ergab sich für den Ökologen wesentlich aus einem „Fehler in der Technologie“ (Commoner [1971] 1973: 132) moderner Gesellschaften, die sich vom Prinzip des natürlichen Kreislaufs abgewendet hatte. Die Menschheit sei, so diagnostizierte Commoner, mit der Entwicklung moderner Technologien „aus dem Kreis des Lebens ausgebrochen, indem wir die unendlichen Zirkulationsprozesse der Natur zu linearen Abläufen verformt haben“ (ebd.: 20). Commoner nahm also im Rahmen seiner ökologischen Kritik eine Unterscheidung vor zwischen der Zirkularität der Natur, die er als ökologisches Idealprinzip definierte, und der Linearität moderner Technologien, die er als ökologisches Kernproblem definierte.

Dabei steht Commoners Idealisierung des natürlichen Kreislaufprinzips hier nur stellvertretend für eine grundsätzliche gesellschaftliche Reorientierung am Vorstellungsbild des natürlichen Kreislaufs am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren. So gewann in diesem Zeitraum auch das Konzept des *Recyclings* an Bedeutung, mit dem das Kreislaufprinzip als Gegenentwurf zum linearen Wachstumsprinzip in Stellung gebracht wurde (Heilige 1994: 12). Um energetische und stoffliche Prozesse in der Wirtschaft umweltverträglich zu gestalten, sollten sie nun nach dem Vorbild des Kreislaufs gestaltet werden. Im Kern der ‚grünen‘ Wertigkeitsordnung stand also, wie schon der Titel von Commoners Bestseller *The Closing Circle* zum Ausdruck bringt, das Modell geschlossener Kreisläufe: Als umweltverträglich und damit wertvoll galt all das, was sich in

Stoffkreisläufe eingliedern lässt; alles, was aus Kreisläufen herausfällt, galt hingegen als umweltschädlich und damit wertlos.

Im Rahmen dieser ‚grünen‘ Wertordnung wurden Kunststoffe aufgrund ihrer Resistenz gegenüber natürlichen Abbauprozessen daher als besonders umweltfeindliche Technologien eingeordnet. Zwar machte Commoner Kunststoffe nicht alleine für die Krise der Umwelt verantwortlich. Sie stehen in seinem Buch im Kontext eines umfassenderen Katastrophenszenarios von verpesteter Luft, verseuchten Böden, eutrophen Seen und radioaktivem Niederschlag. Dennoch symbolisierten die synthetischen Stoffe für Commoner wie kaum eine andere moderne Technologie „den Anbruch des technologischen Zeitalters“ (ebd.: 163). Die „unzerstörbaren“ Kunststoffe waren für ihn ein sichtbares und daher anschauliches Beispiel für den Ausbruch der Gesellschaft aus den natürlichen Kreisläufen. So schrieb er, dass Kunststoff ein dem „Ökosystem vollkommen fremder Stoff“ (ebd.: 119f.) sei, der von außen auf selbiges einwirke und zwangsläufig zu einer Verschlechterung von Umweltbedingungen führe. Kunststoffe würden „im Gegensatz zu natürlichen Materialien nicht zersetzt und abgebaut (...). Sie bleiben daher entweder in Form von Müll erhalten oder werden verbrannt und verursachen in beiden Fällen eine Verschmutzung der Umwelt“ (ebd.). Sie könnten also „von keinem natürlichen, ökologischen Kreislauf aufgenommen oder ‚assimiliert‘ werden“ (ebd.: 161). Gerade „weil sie unnatürliche, künstliche Substanzen sind, die dem biologischen Abbau gegenüber resistent sind – also aufgrund der selben Eigenschaften, auf denen ihr technologischer Wert beruht“ (ebd.: 172), definierte sie Commoner als ökologisches Problem.

Commoner stellte Kunststoffe dabei auch mit anderen – weitaus gefährlicheren – Substanzen in eine Reihe, die ebenfalls aus dem natürlichen Kreislauf herausfielen. Auch daran wird deutlich, dass die Kreislauffähigkeit von Stoffen zu einem zentralen Maßstab ihrer ökologischen Bewertung geworden war. So ordnete Commoner Kunststoffe in jene „Art von Produktivität“ ein, „die in der natürlichen Umwelt fremde Substanzen entstehen läßt“ (ebd.: 120), zu der er auch toxische Chemikalien wie DDT oder Blei zählte. Diese Art von Gleichsetzung unterschiedlicher synthetischer Substanzen im Hinblick auf ihre nicht vorhandene Kreislauffähigkeit findet sich auch bei anderen Umweltaktivisten aus dieser Zeit. Wie Commoner platzierte auch Thor Heyerdahl die Kunststoffe, die ihm auf seiner Reise über den Atlantik begegnet waren, in die Reihe der bedrohlichen synthetischen Substanzen, die mit dem ‚funktionalen Kreislauf der Evolution und der Erhaltung in der biologischen Welt‘ (Heyerdahl 1972: 287) in Widerspruch stünden. In drastischen

Worten beschrieb er in seinen Vorträgen die fatale Akkumulation der aus menschlicher Hybris geschaffenen, ‚toten‘ Stoffe als Störfaktoren in einer perfekt organisierten, lebendigen Natur:

„Although a blessing to man in their primary use, some of these modern synthetics, such as plastics and DDT and other chlorinated hydrocarbons, are eternally dead and non-transferable. Like extra bolts and nuts falling inside a ready-made and perfectly functioning machine. Nature never asked for these dead-end synthetics which were created by man while God held his Sabbath. Nor does nature know how to handle them, how to incorporate them, or how to transform or dispose of them. They simply accumulate perpetually out of context within nature’s smoothly rotating mechanisms“ (ebd.).

Indem Umweltaktivisten wie Commoner einen ökologischen Wertmaßstab an Kunststoffe anlegten, verschoben sie auch, welche Qualitäten bei der Bewertung von Kunststoffen als ökonomische Güter einbezogen werden sollten. So kritisierte Commoner, dass die Kunststoffhersteller immer nur an die „Verwendungsmöglichkeiten des gewünschten Plastikmaterials“ (Commoner [1971] 1973: 171) gedacht hätten. Kunststoffe wären von ihnen also immer nur im Hinblick auf ihren gegenwärtigen Gebrauchswert betrachtet worden, während sie „die Zukunft dieser Kunstprodukte, die erst dann begann, wenn sie unbrauchbar geworden waren und der Umwelt zu Last fielen“ (ebd.), vernachlässigt hätten.

Genau deshalb forderte Commoner, Kunststoffe – und alle anderen Produkte der modernen Industriegesellschaft – nicht mehr nur im Hinblick auf ihre Verwendungs-, sondern vor allem im Hinblick auf ihre Herstellungs- und Entsorgungsqualitäten hin zu bewerten und so ihren ‚gesellschaftlichen Wert‘ in die Entscheidung für oder gegen eine Technologie miteinzubeziehen. „Erforderlich“ sei, „eine Art ‚Inventur der Umweltbelastung‘ jeder Produktionstätigkeit, die uns instand setzen würde, jedem Produkt so etwas wie ein ‚Verschmutzungs-Preisschildchen‘ anzukleben. (...) Für alle wichtigeren Artikel benötigten wir solche Verschmutzungs-Preisschildchen, wenn wir in der Lage sein wollen, ihren relativen Wert für die Gesellschaft zu beurteilen“ (ebd.: 163). Schon Anfang der 1970er Jahre erhoffte sich Commoner also die Einführung von Analysetechniken, die später unter dem Begriff *Ökobilanzen* bekannt werden sollten, und die auch in heutigen Biokunststoffmärkten eine zentrale Rolle bei der ökologischen Bewertung der Produkte einnehmen. Ich begreife Commoner als frühen Vertreter einer ‚grünen‘ Konvention, in der Kreislauffähigkeit als wertvoll, Linearität hingegen als wertlos definiert wird. Das Wertversprechen ‚grüner‘ Kunststoffe gründet, wie im Verlauf der Arbeit noch deutlich wird, ganz wesentlich in diesem ökologischen Idealprinzip des Kreislaufs, das seit den 1970er Jahren an Bedeutung gewann.

3.2. Abbaubarkeit als technikoptimistische Vision

In Krisenzeiten intensiviert sich die Auseinandersetzung mit der Zukunft und es entsteht Raum für neue Ideen. Als Reaktion auf die ökologische Kritik an Kunststoffen setzte am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren eine Auseinandersetzung um die Notwendigkeit und die Richtung einer alternativen Kunststoffzukunft ein. Commoner, der Kunststoffe als fundamentalen Widerspruch zum natürlichen Kreislaufprinzip wahrnahm, sprach sich beispielsweise für eine – bis auf wenige Ausnahmen – weitgehende *Abkehr* von der modernen Kunststofftechnologie und einer Rückkehr zu traditionellen, ‚natürlichen‘ Materialien aus:

„After all, even before most plastics were invented, let us say in the 1930s, furniture was upholstered; walls, floors, and tables were covered, showers were curtained; and babies wore waterproof pants. All of these tasks can be met with materials other than plastics: natural fabrics, leather, paper, wood, and natural rubber for example“ (Commoner 1976b: 202).

Für Commoner hatte die synthetische Kunststofftechnologie also kaum einen Zusatznutzen für die Menschheit gebracht, sondern lediglich andere Stoffe, die ‚mehr oder weniger die gleiche Funktion erfüllten‘ (ebd.: 203), aus den Märkten verdrängt. Dabei stellten sie für ihn nicht nur ein Abfallproblem dar, sondern waren vielmehr Teil der fehlgeleiteten Technologieentwicklung moderner Gesellschaften an sich, und damit ein „große[r] Irrweg des Menschen“ (Commoner [1971] 1973: 21). Aus Commoners Sicht galten Kunststoffen damit nicht als zukunftsfähige Technologie. Seine Zukunftsvision einer (beinahe) kunststofffreien Welt speiste sich also wesentlich aus dem Blick in die Vergangenheit, in der ‚natürliche‘ Materialien vorherrschten, und die nun reaktiviert werden sollte.

Auch Kunststoffchemiker beschäftigten sich angesichts der ökologischen Kritik jetzt verstärkt mit den Auswirkungen der Kunststoffe auf die Umwelt. In Großbritannien hatte der Präsident der *Society of Chemical Industry* bereits 1968 eine Studie in Auftrag gegeben, die sich mit dem aufkommenden Problem des Kunststoffabfalls auseinandersetzen sollte (Staudinger 1970: vii). Auch die amerikanische *Chemical Society* hielt 1972 ein Symposium zum Thema „Polymers and Ecological Problems“ ab, auf dem das Problem des Kunststoffabfalls umfassend diskutiert wurde (Guillet 1973a: xi). Dabei richtete sich der Blick der Polymerchemiker allerdings nicht in die Vergangenheit. Sie sahen Kunststoffe selbstverständlich weiterhin als zukunftsfähige Technologie. Kunststoffentwickler diskutierten vielmehr unterschiedliche *technologische* Lösungen für die Entsorgung von Kunststoffen. Dabei wurden auf der einen Seite Optionen für die *geordnete* Abfallentsorgung debattiert – also das Deponieren, die Verbrennung und das Recycling von

Kunststoffen. Auf der anderen Seite propagierten einige wenige Polymerchemiker die Entwicklung von ‚abbaubaren Kunststoffen‘ als Lösung für das in der Bevölkerung zu diesem Zeitpunkt am drängendsten wahrgenommenen Problem der Kunststoffe als *Litter* in der natürlichen Umwelt.

Wer brachte die Idee der ‚Abbaubarkeit‘ in den Diskurs um Kunststoffe ein? Und welche konkreten Forschungsstrategien wurden in den 1970er Jahren verfolgt? Das folgende Kapitel zeigt, dass sich die Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ einerseits aus der öffentlich kommunizierten Nachfrage nach einer technischen Lösung für das Abfallproblem speiste, und andererseits aus dem Versprechen von Polymerchemikern, eine solche technische Lösung tatsächlich bereit stellen zu können.

Forderung nach abbaubaren Verpackungsmaterialien in der Öffentlichkeit

Während Commoner Kunststoffe (größtenteils) abschaffen wollte, verknüpften andere Mitglieder der Krisengemeinschaft ihre ökologische Kritik an Kunststoffen mit der zumeist relativ unspezifischen Forderung an die Industrie, so etwas wie ‚(biologisch) abbaubare Verpackungen‘ zu entwickeln. Dabei stellte die Forderung nach (biologisch) abbaubaren Verpackungsmaterialien auch eine Art begriffliche Übertragung von einem Bereich der chemischen Industrie auf einen anderen dar. Bereits Mitte der 1960er Jahre hatte eine politische Debatte über die Verschmutzung von Flüssen und Seen durch Waschmittel dazu geführt, dass Waschmittelhersteller ihre Rezepturen auf biologisch abbaubare Tenside umstellten (Kehoe 1992). Spätestens seitdem war der Terminus ‚biologische Abbaubarkeit‘ zu den ökologisch konnotierten Begriffen avanciert.⁸ Verbraucher, Experten und Politiker imaginierten (biologisch) abbaubare Verpackungen daher ebenfalls als eine ökologische Verbesserung von konventionellen Verpackungen.

Im Rahmen der Vorbereitung zur Gründung einer *National Commission on Materials Policy* hatten zum Beispiel Umwelt- und Materialexperten in Briefen an den US-amerikanischen Senator Caleb Boggs Ende der 1960er Jahre darauf gedrungen, Verpackungsmaterialien zu diskutieren, „which are bio-degradable, or otherwise become unfit for use with age and are easily disposable“ (James Bonner, in: US Congress 1969: 31778). Angesichts der wachsenden Menge an Verpackungsabfällen in der Natur forderten sie die Nixon-Regierung dazu auf, die Entwicklung

⁸ Das dies für die USA gilt, wird z.B. an einer Aussage von Senator Alan Cranston deutlich. Als Indikator für das gewachsene Umweltbewusstsein der Amerikaner wies er darauf hin, dass „[t]he American vocabulary today abounds with the words that reflect our environmental concern. Words like ‚ecology‘, ‚biodegradable‘, ‚recycling‘ and phrases like ‚endangered species‘ and ‚natural or organic foods‘ are now commonly used in our daily speech“ (US Congress 1972: 11413).

von abbaubaren Verpackungsmaterialien finanziell zu fördern. Konkreter stellte sich ein Experte beispielsweise vor, dass man die molekularen Strukturen des Kunststoffes PVC so verändern könnte, „to permit degradation at a given point in time or by the introduction of a catalyst“ (Robert Lent, zit. in: ebd.: 31782).

Neben Experten brachten auch normale Bürger ihren Wunsch nach abbaubaren Verpackungen zum Ausdruck, wie der Aufsatz einer jungen Schülerin verdeutlicht. In ihrem Appell an Präsident Nixon hoffte die Schülerin darauf, dass „with some strong prodding, the packaging industry could come up with ‘bio-degradable’ packaging, meaning containers which would rot away naturally, to replace the mountains of indestructible no-deposit, no-return trash which is staring us in the face“ (US Congress 1970a: 18821). Ähnliche Forderungen nach ‚abbaubaren‘ Verpackungsmaterialien finden sich auch in Briefen, die Konsumentenorganisationen an Kunststoffchemiker schickten (Guillet 1973a: 190). Und auch das *National Research Council of Canada* verwies auf einer Konferenz auf die Vielzahl an ‚ökologisch interessierten Leuten‘, die nach ‚abbaubaren Materialien‘ suchten und Produzenten und Supermärkte in Zukunft zur Verwendung derselben unter Druck setzen würden (zit. in: ebd.). Die öffentliche Kritik an Kunststoffen, so schien es, hatte sich also in eine Nachfrage nach abbaubaren Verpackungsmaterialien übersetzt.

Entsprechend dieser Forderungen appellierte auch Präsident Richard Nixon selbst an die Industrie. Nixon, der sich Anfang der 1970er der Umweltpolitik angenommen hatte, drang in einer Rede zum Umweltschutz darauf, Verpackungsmaterial zu erfinden, das sich nach dem Gebrauch ‚abbauen‘ könnte – „that is, which will become temporary rather than permanent wastes“ (Nixon 1970: 32). Auch andere Politiker, die sich nun für den Umweltschutz engagierten, wie der demokratische Senator Gaylord Nelson, ein Mitbegründer des ersten *Earth Day*, setzten sich für neue Verpackungsmaterialien ein. Nelson schlug z. B. die Verabschiedung eines *Packaging Pollution Control Act* vor, durch den Standards etabliert werden sollten, „which will require reusable or degradable consumer product containers, as soon as it is technically feasible“ (US Congress 1970c: 83). Es sei an der Zeit, forderte der Senator, Veranlassungen für Verpackungen zu treffen, die der Abfallentsorgung zugeführt werden könnten und die ‚abbaubar‘ sind, sodass sie nicht in der Natur akkumulieren und zu einer permanenten Verschmutzung führen (US Congress 1970b: 9942).

Ebenso wie in Nordamerika brachten auch in Europa parlamentarische Abgeordnete und Abfallexperten die Idee der ‚abbaubaren Kunststoffe‘ in den politischen Diskurs ein. Im britischen

Parlament drangen beispielsweise der konservative Abgeordnete Sir C. Taylor und die Labour-Abgeordnete Joyce Butler auf eine möglichst schnelle Entwicklung und Einführung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ (Hansard 1971: 504). In Deutschland wurde die Idee ‚abbaubarer Kunststoffe‘ im Kontext des ersten Umweltprogramms der Bundesregierung thematisiert. In Vorbereitung auf das Umweltprogramm, das 1971 veröffentlicht wurde, beschäftigten sich verschiedene Expertengruppen mit dem Konzept ‚abbaubarer Kunststoffe‘. Im Umweltprogramm hieß es dazu, dass „[v]on Seiten der Abfallbeseitigung heute (...) gefordert“ werde, „daß Kunststoffe (...) biologisch leicht abbaubar sein sollen“ (Bundesregierung 1971: 47). Dazu empfahlen die Experten die weitere Investition in die Entwicklung „umweltfreundlicher Kunststoffe durch die einschlägige Industrie“ (ebd.: 49). Auch die Expertengruppe zu „umweltfreundlichen Technologien in der chemischen Industrie“ nahm die Tatsache zur Kenntnis, dass „[f]ür den Verpackungssektor (...) die Aufgabe gestellt [sei], Kunststoffe zu entwickeln, die bei der Ablagerung unter den natürlichen Einflüssen zerfallen oder möglichst zu Wasser, Kohlendioxid oder sonstigen unschädlichen Stoffen abgebaut werden“ (ebd.: 430). Da auch die Bundesregierung der Auffassung war, dass „die wirksamste Form des Umweltschutzes die Entwicklung umweltfreundlicher oder ‚sauberer‘ neuer Technologien“ sei, sollten im Rahmen des ersten Umweltprogramms bis 1972 so etwas wie „selbst verrottbare Kunststoffe entwickelt werden (...)“ (Bundesregierung 1970: 10).

An diesen Forderungen nach ‚abbaubaren Kunststoffen‘ werden zwei Dinge deutlich: erstens wurde die Idee der Abbaubarkeit nicht nur im geschlossenen Raum chemischer Labore diskutiert. Vielmehr handelte es sich um einen öffentlich formulierten Lösungsvorschlag. Die Tatsache, dass Politiker wie Nixon oder Expertengruppen des deutschen Innenministeriums über ‚abbaubare Kunststoffe‘ sprachen, zeigt, dass die Idee in der Öffentlichkeit Legitimität genoss. Zweitens wird deutlich, dass die ökologische Kritik an Kunststoffen nicht, wie bei Commoner, zwangsläufig zu einer Abwendung von der Kunststofftechnologie an sich führte. Verbraucher und Politiker forderten vielmehr eine technische Lösung, die es ermöglichen würde, Kunststofftechnologie und Umweltschutz miteinander zu vereinbaren.

„Biodegradation“ vs. „Solar Degradation“

Tatsächlich arbeiteten bereits einige wenige Kunststoffchemiker am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren an der Entwicklung von ‚abbaubaren Kunststoffen‘. Bis in die 1960er Jahre hatten Kunststoffchemiker primär das Ziel verfolgt, Kunststoffe durch den Einbau von

Stabilisatoren immer beständiger gegen natürliche Zerfallsprozesse zu machen. Die ökologische Kritik an Kunststoffen hatte nun aber einige Chemiker, die sich zuvor mit der Stabilisierung von Kunststoffen befasst hatten, auf die Idee gebracht, die Zielsetzung ihrer Forschung ins Gegenteil zu verkehren. Im Gegensatz zum traditionellen Ziel der Kunststoffentwicklung begannen sie nun damit, Kunststoffe zu *destabilisieren*. „Before long“, so hieß es beispielsweise über den Sinneswandel des britischen Polymerforschers Gerald Scott, habe dieser realisiert, dass „the indestructible mass he was creating was a potential menace. He began wondering whether, having stabilized it, he could make it unstable again“ (o.A. 1971b: 38).

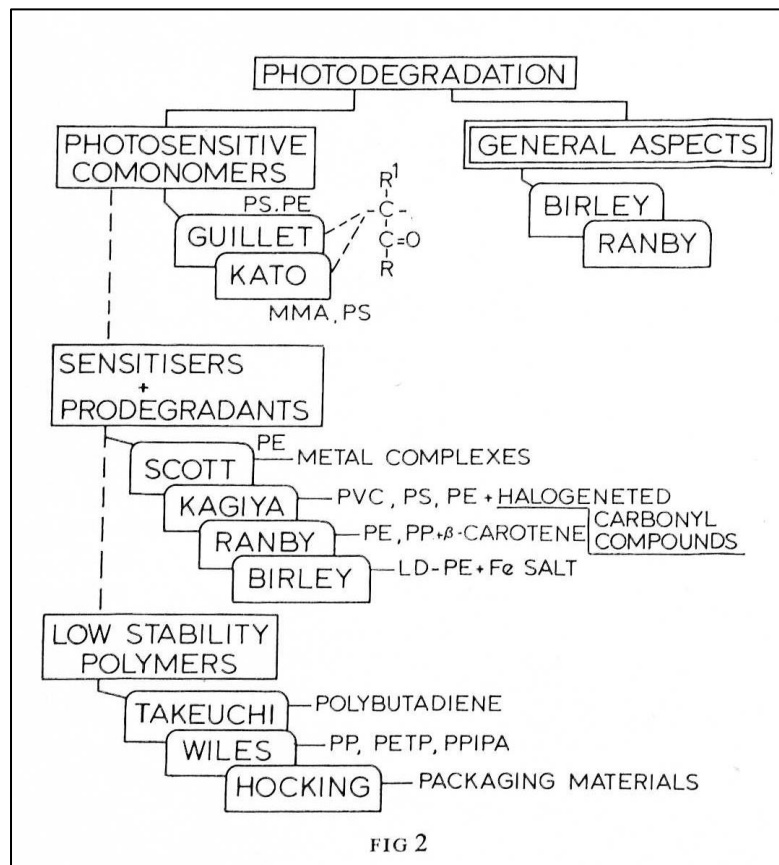
Dabei verfolgten Kunststoffchemiker in den frühen 1970er Jahren zunächst nicht die Forschungsstrategie, vollkommen neue Polymere zu synthetisieren, die durch Mikroorganismen verstoffwechselt werden könnten. Vielmehr war ihr Ziel, bereits *etablierte* Kunststoffe wie Polyethylen oder PVC durch den Einbau von Additiven oder durch die Synthese von Copolymeren so zu verändern, dass sie in der natürlichen Umgebung schneller zerfallen würden. Zwei Forschungsstrategien zur Destabilisierung von Kunststoffen – fotochemische Abbaubarkeit und biologische Abbaubarkeit – wurden dabei in der Forschungsliteratur voneinander unterschieden.

Um Kunststoffe ‚biologisch abbaubar‘ zu machen, versuchten Forscher vor allem, Stärke in konventionelle Kunststoffe einzubauen, sodass die Stoffe in der natürlichen Umgebung von Mikroorganismen wie Bakterien oder Pilzen angegriffen würden. Zu diesen Forschern zählte beispielsweise die Gruppe um Felix Otey am *Northern Regional Research Laboratory* des amerikanischen Landwirtschaftsministeriums und der Chemiker Gerald Griffin von der *Brunel University* in London, der für den britischen Tragetaschenhersteller *Coloroll Ltd.* ein stärkegefülltes Polyethylen entwickelte. Polymerchemiker wie Griffin und Otey stellten in Aussicht, dass sich durch den Einbau von Stärke als eine Art „biodegradable filler“ (Griffin 1974) die ‚Rate der biologischen Abbaubarkeit‘ (Otey 1976: 222) konventioneller Kunststoffe verbessern würde, sodass diese Kunststoffe einen Beitrag zur Lösung des Abfallproblems leisten könnten:

„Because starch and many starch-derived products are known to biodegrade, their use in plastics could significantly reduce the waste treatment problem of plastics. Our efforts are being directed toward the synthesis of resins which have starch as an integral part of their structures. Hopefully, upon extended exposure to microbial attack, the starch part of the resin will decompose with subsequent deterioration of the plastic“ (Otey, Westhoff und Mehlretter 1972: 107).

Andere Kunststoffchemiker schätzten die Entwicklung ‚biologisch abbaubarer Kunststoffe‘ allerdings als wenig aussichtsreich ein (Baum und White 1973: 46; G. Scott 1973a: 33). „Biodegradation“ sei vielmehr „doubtful as a primary economic route for decomposing polyolefins, which make up the bulk of the packaging waste“ (Baum/White 1973: 46). Diese Forscher konzentrierten sich daher auf die Strategie, Kunststoffe durch Sonnenlicht zum ‚Abbau‘ zu bringen. Während die Forschung zur ‚biologischen Abbaubarkeit‘ in den frühen 1970er Jahren nur relativ wenig Aufmerksamkeit erhielt, befassten sich mehrere Forscher an Universitäten und in Forschungsabteilungen von Unternehmen in Nordamerika, Europa und Japan mit der Entwicklung sogenannter ‚fotochemisch abbaubarer‘ Kunststoffe. Zu den Unternehmen, die in den 1970er Jahren an der Entwicklung ‚fotochemisch abbaubarer‘ Kunststoffe arbeiteten, zählten *Eastman Kodak*, *Mitsubishi Chemical Co.*, *Akerlund & Rausing*, *Tetra Pak*, *Princeton Chemical Research*, *Mobil Chemical* oder auch *Sekisui Plastics Co.* (Baum und Deanin 1973). An Universitäten entwickelten James Guillet, Professor an der Universität Toronto in Kanada, und Gerald Scott, Professor an der Aston Universität im englischen Birmingham, ebenfalls Systeme zum ‚fotochemischen Abbau‘ von Kunststoffen. Wie die Grafik (Abb. 4) zeigt, wurden dabei unterschiedliche technologische Optionen verfolgt. Scott arbeitete z. B. an einer Technologie bei der sogenannte „photo-accelerator additives“ in konventionelle Kunststoffe eingebaut werden sollten, um einen fotochemischen Abbau der Polymere auszulösen. Zu solchen fotosensitiven Additiven gehörten zum Beispiel Metallsalze wie Eisen-Dinonyldithiocarbamat (G. Scott 1973a). Guillet wählte einen anderen Ansatz. Er entwickelte eine Technologie, bei der Carbonylgruppen in die Polymerstruktur konventioneller Kunststoffe eingebaut wurden, um den ‚fotochemischen Abbau‘ auszulösen. Beide Chemiker versuchten, ihre Technologien bereits in den 1970er Jahren in Kooperation mit Unternehmen auf den Markt zu bringen.

Abb. 4: Forschungsarbeiten zum fotochemischen Abbau von Kunststoffen, 1974



An der Vielzahl technologischer Optionen wird deutlich, dass die Vision der ‚abbaubaren Kunststoffe‘ in den frühen 1970er Jahren noch relativ unbestimmt war. Es existierten unterschiedliche Vorstellungen darüber, wie die Vision in konkreten Stoffen realisiert werden könnte und welche Strategie sich als ökonomisch rentabel erweisen würde. Im Folgenden will ich allerdings weniger auf die verschiedenen technischen Optionen eingehen als vielmehr die Vision der ‚abbaubaren Kunststoffe‘ selbst eingehender analysieren. Welches Versprechen wurde mit ‚abbaubaren Kunststoffen‘ verbunden? Und wie reflektierte sich das grüne Wertprinzip in der Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘? Dabei konzentriere ich mich im Folgenden auf die Publikationen der beiden Kunststoffchemiker James Guillet und Gerald Scott. An ihren Veröffentlichungen und Vorträgen lässt sich ablesen, wie die ökologische Kritik von Polymerchemikern rezipiert, und als Antwort eine *technologische* Vision formuliert wurde, die in Aussicht stellte, dass die moderne Kunststofftechnologie nicht abgeschafft werden müsste, sondern mit dem ökologischen Idealprinzip des natürlichen Kreislaufs in Einklang gebracht werden könnte.

3.2.1. Polymerforscher als ‚moderne Ökologen‘

Polymerchemiker wie Guillet und Scott formulierten ihre Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ ganz im Sinne der technikoptimistischen Fortschrittserzählung der frühen Kunststoffpioniere. Besonders deutlich wird das Selbstverständnis der Polymerchemiker als Träger des Fortschritts in einem Vortrag, den James Guillet auf der ANTEC-Konferenz der *Society of Plastics Engineers* im Jahr 1974 hielt, und der später in der Fachzeitschrift *Plastics Engineering* unter dem Titel *Plastics, energy, ecology – a harmonious triad* erschien (Guillet 1974). In diesem Text setzte er sich mit den ökologischen Katastrophenszenarien auseinander, mit denen die Kunststoffindustrie in den 1970er Jahren konfrontiert wurde. Als besonders einflussreich auf die öffentliche Wahrnehmung von Kunststoffen erkannte Guillet sowohl den Bericht zu den *Grenzen des Wachstums* des *Club of Rome* als auch Barry Commoners Buch *The Closing Circle*, das die Frage aufgeworfen habe, „whether or not plastics are compatible with a natural environment“ (ebd.: 48).

Zwar warf Guillet beiden Veröffentlichungen Unwissenschaftlichkeit und ‚naive Annahmen über das Wesen der technologischen Gesellschaft‘ (ebd.) vor. Dennoch sah er in den Negativszenarien der Umweltbewegung die Gefahr, dass die öffentliche Abneigung gegen Kunststoffe weiter zunehmen würde. Die Tatsache, dass Guillet Veröffentlichungen wie *The Closing Circle* reflektierte und darauf reagierte, macht deutlich, dass ökologische Katastrophenszenarien Einfluss nahmen auf die Auseinandersetzung um eine mögliche alternative Kunststoffzukunft in der Polymerchemie. Da sie bestimmte ‚philosophische Positionen‘ in der Bevölkerung zum Ausdruck brachten, sollten Kunststoffingenieure diese, so Guillet, durchaus ernst nehmen. Diejenigen, die sich mit der Zukunft technologischer Unternehmen befassen würden, könnten es sich nicht leisten, Kritik wie in *The Closing Circle* zu ignorieren (ebd.). In der Vergangenheit habe gerade falscher Stolz und Ignoranz für jegliche Art von Kritik dazu geführt, dass sich überhaupt die öffentliche Abneigung gegen Kunststoffe entwickeln konnte. Angesichts der öffentlichen Wirkmacht der Negativszenarien forderte Guillet die anwesenden Kunststoffchemiker auf, „to take stock of our industry to recognize the errors of the past and to plot a new course for the future“ (ebd.).

Dieser neue Zukunftskurs sollte aber freilich nicht, wie es Commoner gefordert hatte, zu einer Abkehr von der modernen Kunststofftechnologie und einer Rückkehr zu natürlichen Materialien führen. Das Problematische an Commoners Katastrophenerzählung lag für den Kunststoffchemiker in seinem ‚pessimistischem Blick‘ auf die moderne Technologie:

„In fact, far from admitting the ability of technology to solve some of the world's problems, Commoner blames most of our troubles on the development of technology, and strongly advocates the diminution of technological enterprise and a return to what he calls 'more natural' systems. One critic of his book has suggested that this is a little bit like curing a patient of high blood pressure by cutting his head off! It is true that the blood pressure is lowered, but the operation is usually fatal“ (ebd.).

Guillet selbst zählte sich hingegen zur Gruppe der „modern ecologists“ (ebd.). Mit dieser Selbstbeschreibung positionierte sich der Polymerforscher sowohl als eine Art Versächlicher der Kunststoffkritik, der er ein wissenschaftliches Fundament geben wollte, und gleichzeitig brachte er damit seinen technologischen Fortschrittsglauben zum Ausdruck. So vertrat Guillet die Ansicht, dass gerade die moderne Technologie ‚der sicherste Weg sei, um Umweltprobleme zu lösen‘ (ebd.). Ganz im Sinne seiner Vorgänger in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts argumentierte er dafür, dass die Menschheit ‚nicht weniger, sondern mehr und bessere Technologie brauche‘ (ebd.).

Als Beispiel für solch eine ‚bessere‘ Technologie stellte er in seinem Vortrag das von ihm entwickelte Verfahren zur Herstellung ‚fotochemisch abbaubarer‘ Kunststoffe als explizit technologische Lösung für das Litterproblem vor. Gerade weil der Chemiker über die Fähigkeit verfüge, die Eigenschaften der Kunststoffe genau nach seinem Willen zu gestalten – sie also auch ‚abbaubar‘ zu machen – sprach sich Guillet dafür aus, gerade Kunststoffe als präferiertes Material für Verpackungen und Wegwerfprodukte zu verwenden: „Clearly, plastics should replace other materials for packaging which is truly intended to be disposable because they can be designed to have the least impact on the environment“ (ebd.: 56). Anders als Commoner nahm Guillet also keinen Abstand von den Einwegprodukten der modernen Konsumgesellschaften. Lediglich das Material müsse ausgetauscht werden, um deren negativen Einfluss auf die Natur zu verringern.

Wie sein Kollege sah auch Gerald Scott in England im Litterproblem vor allem eine neue technische Herausforderung für die Polymerchemie. So kritisierte er ebenfalls jene Umweltschützer, ‚die die Uhr zurückdrehen wollten‘ (G. Scott 1974: 190). Diese hätten den „fundamental change in the value of technological man“ (ebd.) nicht verstanden. Er sah aber ebenfalls wie Guillet, dass das Problem des Kunststoffabfalls in der natürlichen Umwelt ‚die Zukunft der Kunststoff im Verpackungsbereich gefährde‘ (G. Scott 1973a: 32). Eine Verbannung von Kunststoffen aus den Märkten oder eine Rückkehr zu natürlichen Materialien erschien dem Polymerforscher aber ebenfalls als äußerst unwahrscheinlich und außerdem nicht wünschenswert. Außerdem hatte er bei einer von ihm durchgeführten Untersuchung eines Strandabschnitts im Norden Schottlands festgestellt, dass die Kunststoffabfälle nicht von Strandbesuchern liegen

gelassen wurden, sondern zum großen Teil ‚von Schiffen stammen könnten‘ oder ‚als Nebenprodukte anderer unternehmerischer Tätigkeiten‘ (G. Scott 1972: 36) über das Meer oder den Wind ans Ufer getragen wurden. Aus dieser Beobachtung zog Scott den Schluss, dass pädagogische Anti-Litter-Kampagnen keine ausreichende Maßnahme gegen den Kunststoffmüll in der natürlichen Umwelt darstellen würden. Es könnte und sollte von der Verpackungsindustrie nicht erwartet werden, auf Kunststoffe zu verzichten, wenn mit ‚abbaubaren Kunststoffen‘ eine technologische Lösung für das Problem gefunden werden könnte: „This is enough to restore the natural balance“ (ebd.), versprach Scott im *International Journal of Environmental Studies*. Angesichts der technologischen Möglichkeiten der Kunststoffchemie sahen beide Polymerchemiker also weiterhin optimistisch in die Zukunft. So sprach Guillet trotz anhaltender öffentlicher Kritik, gar von einer „bright future“ (Guillet 1974: 48) für die Kunststoffindustrie und von einem aufscheinenden „Golden Age of Plastics“ (ebd.: 56).

3.2.2. Abbaubarkeit als ökologische Requalifizierung von Kunststoffen

Die Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ stellt also keineswegs eine Abkehr vom technioptimistischen Zukunftsnarrativ der Polymerforschung dar, sondern muss gerade als Fortführung desselben verstanden werden. Dennoch kommt in der Vision der ‚abbaubaren Kunststoffe‘ der Wandel im Kunststoffdiskurs zum Ausdruck, den der Literaturwissenschaftler Carsten Rohde als ökologische „Umcodierung“ (Rohde 2015: 139) bezeichnet. Während Kunststoffchemiker im frühen 20. Jahrhundert Natur- und Kunststoff voneinander differenziert hatten, um die neue Materialklasse als Ausdruck des technischen Fortschritts zu qualifizieren, nahmen Polymerforscher wie Guillet und Scott nun eine Requalifizierung von Kunststoffen vor. Dabei bezogen sie sich zur Qualifizierung ihrer Innovation auf die neue ‚grüne‘ Konvention, die sich maßgeblich auf das Idealprinzip des natürlichen Kreislaufs stützte.

Guillets Vortrag auf der ANTEC-Konferenz ist auch hierfür wieder ein anschauliches Beispiel. Während die Kunststoffpioniere zu Beginn des 20. Jahrhunderts in einer Abgrenzungsbewegung zur Vergangenheit den Unterschied zwischen natürlichen Materialien und Kunststoffen besonders stark hervorgehoben hatten, strebte Guillet in seinem Vortrag jetzt das Gegenteil an. Seine Ausführungen zeigen, wie Polymerforscher versuchten, Kunststoffe und Natur in der öffentlichen Wahrnehmung wieder näher zusammenzubringen, um die Kunststofftechnologie an sich zu legitimieren und gegen die ökologische Kritik zu verteidigen. So kritisierte Guillet all jene, die

Naturstoffen eine Art inhärente ‚Lebenskraft‘ unterstellen würden, während sie Kunststoffen diese Lebenskraft absprächen. Im Gegensatz dazu wollte Guillet deutlich machen, dass Umweltaktivisten wie Commoner oder Heyerdahl Kunststoffe *fälschlicherweise* als ‚naturfremde‘ Materialien kategorisiert hätten. Die Annahme einer fundamentalen Unterschiedlichkeit zwischen Natur- und Kunststoffen, die von der Kunststoffindustrie lange selbst propagiert worden war, bezeichnete Guillet nun als eine „long-standing heresy in science“ (Guillet 1974: 52).

Im Gegensatz zu Commoner betonte Guillet also die Gemeinsamkeiten von natürlichen und synthetischen Polymeren. Beide seien auf der molekularen Ebene letztlich ‚von Natur aus organische Materialien‘ (ebd.: 53), d. h. Kohlenstoffverbindungen. Chemisch gesehen seien Kunststoffe also „very similar in structure to macromolecules of biological origin and they are far more likely to be compatible with living systems than other materials such as metals or glass“ (ebd.: 52). Gegenwärtig sah Guillet diese Kompatibilität von Kunststoff und ‚lebenden Systemen‘ bereits in Kunststoffprodukten verwirklicht, die in den menschlichen Körper eingesetzt werden wie künstliche Herzen, Kontaktlinsen oder Zahnersatz.

Gerade weil Kunststoffe ‚organische Materialien‘ seien, ließe sich diese auf der Ebene der chemischen Zusammensetzung angelegte Vereinbarkeit von Kunststoffen und natürlicher Umwelt aber noch weiter steigern – eben durch die Entwicklung ‚abbaubarer Kunststoffe‘. Anders als Verpackungsmaterialien wie Glas oder Metall könnten Kunststoffe durch ‚Abbaubarkeit‘ ‚noch kompatibler mit natürlichen Systemen gemacht werden als es bisher der Fall sei‘ (ebd.: 52). Dabei implizierten Guillets Ausführungen, dass Verpackungen aus solchen ‚abbaubaren Kunststoffen‘ vergleichbar sein würden mit ‚natürlichen Verpackungen‘ – z. B. der Schale einer Banane, einer Kokosnuss oder einer Muschel (ebd.: 53).

Sowohl Guillet als auch Scott qualifizierten ihre Technologien explizit als ökologisch wertvoll. Guillet bezeichnete seine Technologie beispielsweise als *Ecolyte*; Scott verwendete den Begriff *Ecoten*. Allein die Vorsilbe „Eco“ suggerierte, dass es sich um Innovationen mit einem ökologischen Qualitätsanspruch handeln würde. Guillet stellte in Aussicht, dass Kunststoffe durch seine Technologie „can be made compatible with nature and the natural environment“ (Guillet 1974: 48). Scott legte in ‚abbaubare Kunststoffe‘ das Versprechen, dass damit ‚viele Umweltprobleme der chemischen Industrie kontrolliert werden könnten‘ (G. Scott 1973b: 267). Er definierte seine Technologie dementsprechend als ‚ökologisch wünschenswert‘ (Scott, in: Guillet

1973a: 191), d. h. als „non-damaging material[s] in the environment, non-damaging to the ecology and non-damaging to people“ (ebd.: 195).

Da in der ‚grünen‘ Konvention all jenes als umweltfreundlich galt, was kreislauffähig war, assoziierten Guillet und Scott ihre Innovationen zudem mit dem Idealprinzip des natürlichen Kreislaufs. Obwohl Guillet an der ‚Abbaubarkeit‘ von Kunststoffen durch Sonnenlicht forschte, stellte er in Aussicht, dass sein ‚abbaubarer Kunststoff‘ auch biologisch, also durch Mikroorganismen abgebaut würde, und somit nicht nur einfach in kleinere Bestandteile zerfallen würde, sondern tatsächlich – dem ökologischen Idealprinzip entsprechend – in den Nährstoffkreislauf der Natur übergehen könnte:

„We now have carried out extensive studies in this area and we find that the photodegradation process which cuts the plastic chain into short segments also makes these segments biologically degradable. That is, they are attacked by soil microorganisms and converted to carbon dioxide and water“ (ebd.: 54).

Auf einem Symposium sprach Guillet noch expliziter von seiner Erfindung als einer Form von „biological recycling“ oder „bio-cycling“, bei dem der Kunststoff vollständig in Wasser und Kohlenstoff verwandelt werden würde, „the latter returning to the natural carbon cycle“ (Guillet 1973b: 22). Das Versprechen einer Transformation von problematischen Kunststoffen in harmlose Naturstoffe findet sich auch in einer Werbebroschüre für seinen Stoff *Ecolyte*. Hier hieß es, dass „[t]he plastic biodegrades and is returned harmlessly to the earth“ (Ecoplastics Limited o. J.).

Für Scott und seine Kollegen in Großbritannien eröffneten ‚abbaubare Kunststoffe‘ sogar die Option einer geordneten Kunststoffentsorgung durch Kompostierung (Eggins et al. 1971). In ihrer Vision stellten die Forscher in Aussicht, dass es in Zukunft möglich sein könnte, Kunststoffabfälle zunächst durch UV-Licht zu fragmentiert und dann an Mikroorganismen zu verfüttern. In einem solchen Entsorgungssystem würden Kunststoffe letztlich in Humus, Wasser und CO₂ transformiert, „which are the normal products of cellulose breakdown“ (ebd.: 277). In einem anderen Vortrag formulierte Scott die Vision einer „polymer industry based on the bio-cycle“ (G. Scott 1974: 196) noch weiter aus. So stellte sich Scott vor, dass die Kunststoffindustrie in Zukunft auch pflanzliche Rohstoffe zur Herstellung von Kunststoffen nutzen könnte und Kunststoffabfälle durch Verbrennung oder Abbau zurück in den Kohlenstoffkreislauf der Natur zurückgeführt würden. Damit die Kunststofftechnologie in der Öffentlichkeit wieder als fortschrittlich wahrgenommen werden konnte, das hatten Scott und Guillet erkannt, mussten die Stoffe

ökologisch requalifiziert werden. Und das hieß in den frühen 1970er Jahren, sie mit Prinzip des natürlichen Kreislaufs kompatibel zu machen.

3.3. Umstrittene Erwartungen an abbaubare Kunststoffe

Während die beiden Polymerchemiker ‚abbaubare Kunststoffe‘ als Lösung für das Litterproblem und – wie Scott – sogar als zukünftige Option für eine geordnete Kunststoffentsorgung durch Kompostierung propagierten, zeigt die Berichterstattung über ‚abbaubare Kunststoffe‘ in den frühen 1970er Jahren allerdings, dass die Idee ‚abbaubarer Kunststoffe‘ in der Öffentlichkeit und in der Kunststofffachpresse geteilte Reaktionen hervorrief. Schon zu Beginn der Entwicklung hatten Kommentatoren in Industriemagazinen vorausgesagt, dass sich ‚Abbaubarkeit zu einer der kontroversesten Ideen der nächsten Jahren entwickeln würde‘ (o.A. 1971b: 30) und dass „enthusiasm for plastics that self-destruct ranges from high to low, depending on who’s talking“ (Sprow 1973: 76). Die Erwartungen an ‚abbaubare Kunststoffe‘ als Lösung für das Abfallproblem unterschieden sich in den frühen 1970er Jahren also deutlich je nachdem, wer sich dazu äußerte. Das ökologische Wertversprechen der Abbaubarkeit war dementsprechend von Beginn an umstritten.

Auf der einen Seite stand dabei die Krisengemeinschaft, die Kunststoffe als ökologisches Problem definiert hatte und die sich von ‚abbaubaren Kunststoffen‘ eine Lösung für dieses Problem erhoffte. So erwarteten z. B. die Meeresbiologin Elizabeth Venrick und ihre Kollegen, die auf das Problem der Kunststoffabfälle in den Meeren aufmerksam gemacht hatten, dass „[t]he development of degradable plastics may bring some relief“ (Venrick et al. 1973: 271). Auch Autoren des *Marine Pollution Bulletin* sahen in der Forschungstätigkeit von Scott „some promise that we may be approaching the time when plastic pollution is brought under control“ (o.A. 1970a: 130). Die Autoren formulierten die Erwartung, dass ‚abbaubare Kunststoffe‘ „will be of greatest benefit to municipal refuse authorities who will no longer be faced with a growing mound of polythene bottles and packages at their tips. Plastic bottles floating on the sea or stranded on the shore will also be candidates for disintegration“ (ebd.). Den Entwicklungsarbeiten beim schwedischen Unternehmen *Akerlund & Rausing* sprach das *Bulletin* gar die Bedeutung eines „breakthrough“ zu und stellten in Aussicht, dass „if the major part of such packaging refuse can be made biodegradable, then an important step will be made towards reducing litter problems“ (o.A. 1974b: 35).

Auch Autoren des Umweltmagazins *The Ecologist* versprachen sich vom ‚natürlichen‘ Abbau von Kunststoffen eine zukünftige Entsorgungsstrategie (Jones 1971; Pilpel 1975). In einem Artikel mit dem Titel *Plastic decay* ließ ein Autor des Magazins keinen Zweifel daran, dass ‚abbaubare Kunststoffe‘ essentiell seien, „if we are not to be outlived by middens of plastic cups“ (Jones 1971: 9). Idealerweise sollten Kunststoffe nach ihrer Nutzenphase wieder zurück in ihre Ausgangsstoffe ‚depolymerisiert‘ werden. Zwar sei, so seine damalige Vermutung, eine solche perfekte Bestimmung des funktionellen Lebens eines Polymers nicht umsetzbar. Dennoch sollte es möglich sein, „to plan for short-term sickness and early death“ (ebd.: 10). Ebenso wie viele andere erhoffte sich der Autor, dass die Kunststoffindustrie Abbaumechanismen als Teil ihrer Technologie einführen würde, lange bevor sich Kunststoffe zu einem massiven ökologischen Problem entwickelt hätten (ebd.: 11).

Auf der anderen Seite standen andere Kunststoffchemiker und Kommentatoren in den Industriemagazinen der Chemieindustrie, die Zweifel an der Realisierbarkeit, an der Wirtschaftlichkeit und am ökologischen Wertversprechen ‚abbaubarer Kunststoffe‘ äußerten. In Großbritannien beschäftigte sich – angesichts der öffentlichen Forderung nach ‚abbaubaren Verpackungen‘ – beispielsweise schon früh eine Studie der *Society of Chemical Industry* mit der Idee, Kunststoffe ‚abbaubar‘ zu machen (Staudinger 1970). Zu diesem Zeitpunkt schienen die laufenden Forschungsarbeiten zu ‚abbaubaren Kunststoffen‘ noch nicht öffentlich bekannt gewesen zu sein, sodass der Autor der Studie keine konkreten technologischen Realisierungsvorschläge diskutierte, sondern das Konzept der ‚Abbaubarkeit‘ an sich unter die Lupe nahm. Dabei kam er zum Schluss, dass auf der Grundlage der zu diesem Zeitpunkt existierenden wissenschaftlichen Erkenntnisse ‚synthetische Polymere nicht biologisch abbaubar seien‘ (ebd.: 78). Daher erschien es dem Chemiker sehr unwahrscheinlich, dass es überhaupt möglich sein würde, so etwas wie biologisch abbaubare Kunststoffe zu entwickeln. Es falle ihm schwer, schrieb Staudinger, „to envisage a chemical or physical reaction, which at a given point in time or under certain circumstances would make the carbon in the polymer accessible as a nutrient for any microorganism“ (ebd.: 85). Gesetzt dem Fall, dass es doch technisch möglich sein sollte, Kunststoffe zum biologischen Abbau zu bringen, ging er allerdings davon aus, dass es sich bei den entwickelten Stoffen um qualitativ minderwertige Materialien handeln müsste. ‚Abbaubarkeit‘ galt Staudinger – angesichts der traditionellen Zielsetzung der Kunststoffentwicklung – geradezu als „the antithesis of the nature of plastic packaging“ (ebd.: 83). Die Entwicklung von abbaubaren

Kunststoffmaterialien, die gleichzeitig als stabile und brauchbare Verpackungsmaterialien verwendet werden sollten, erschien dem Kunststoffchemiker als ein Widerspruch, der im Hinblick auf Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit hinterfragt werden müsse (ebd.). Er schloss zwar die Existenzmöglichkeit eines biologisch abbaubaren Polymers nicht vollkommen aus, dennoch stellte er in Aussicht, dass es sich dabei um ein ‚teures Material von mittelmäßiger Qualität und eingeschränkter Nützlichkeit‘ (ebd.: 85) handeln würde.

Auch als die Forschungsarbeiten von Scott, Guillet und anderen zu Beginn der 1970er Jahre zunehmend öffentlich diskutiert wurden, äußerten sich Kommentatoren in der chemischen Fachpresse skeptisch. Vor allem weil die Forschung zu ‚abbaubaren Kunststoffen‘ zu diesem Zeitpunkt noch neu war und unter Chemikern noch keine Einigkeit darüber herrschte, was unter einem ‚Abbau‘ von Kunststoffen eigentlich genau zu verstehen sein sollte, waren die Zukunftsaussichten ‚abbaubarer Kunststoffe‘ alles andere als klar. So stellte z. B. ein Autor in *Chemical Engineering* fest, dass

„[b]ecause the field is so new, there’s no clearcut indication of where it is heading. Some disagree in exactly what is involved in degradation mechanism. And no one is very sure about the size of the potential market for degradable plastics, or even if there is a true need for such materials“ (L. White 1973: 68).

Das ökologische Wertversprechen ‚abbaubare Kunststoffe‘ wurde von vielen Kommentatoren in Fachmagazinen ebenfalls in Frage gestellt. So äußerten sie zum Beispiel Zweifel daran, dass die Stoffe, wie von Scott und Guillet behauptet wurde, tatsächlich von Mikroorganismen verstoffwechselt würden. Mit der Frage „Will the Bugs Eat It?“ (Sproy 1973: 79) brachte ein Kommentator in der Zeitschrift *Machine Design* den Zweifel an der biologischen Abbaubarkeit der Stoffe auf den Punkt. Statt ‚abbaubare Kunststoffe‘ als Lösung für das Litterproblem zu sehen, warnten Kunststoffchemiker auch davor, dass es sich bei den Stoffen möglicherweise selbst um ein ökologisches Problem handeln könnte. So zweifelten sie z. B. die Umweltverträglichkeit der Additive an, die Kunststoffe zum Abbau bringen sollten (E. Evans 1973: 27).

Zusätzlich zu diesen Risiken, die von der neuen Technik selbst ausgehen könnten, warnten Kunststoffchemiker und Kommentatoren in der Fachpresse auch vor möglichen negativen psychologischen Effekten der ‚abbaubaren Kunststoffe‘ auf den Verbraucher. So prognostizierten sie, dass durch das Label der ‚biologischen Abbaubarkeit‘ die ‚Wegwerfmentalität‘ des Verbrauchers noch zusätzlich gesteigert werden könnte. „Knowing a packaging product

biodegrades would tend to give the user license to fling it out the car window even more carelessly than he does now“ (Sprow 1973: 79). In letzter Konsequenz könne anstelle einer Verringerung der Littermenge somit gar eine Erhöhung derselben die Folge sein. Damit wurde die ökologische Wertigkeit von ‚abbaubaren Kunststoffen‘ als Lösung des Litterproblems von anderen Polymerchemikern fundamental in Frage gestellt, ihren Erfindern gar eine gewisse soziale Verantwortungslosigkeit vorgeworfen, wie der öffentliche Brief eines Chemikers an Gerald Scott in der *Times* zum Ausdruck brachte:

„Is it really a ‘socially responsible attitude’ to say to litter louts ‘Don’t worry chaps; be as untidy as you like – it will all degrade in a couple of years?’ Is it really the action of a ‘socially conscious user of plastic packaging’ to promote this point of view, or is it an irresponsible publicity-seeking gimmick?“ (Katan 1972: 16).

In diesem Brief klingt auch die grundsätzliche Haltung der Industrie an, die die Schuld am Kunststofflitter nicht bei sich selbst suchte, sondern vielmehr die undisziplinierten Konsumenten, die einen arglosen Umgang mit Verpackungen an den Tag legten, für das Problem verantwortlich machte. Der Großteil der Kunststoffindustrie teilte also nicht einmal die Problemdiagnose der Entwickler ‚abbaubarer Kunststoffe‘. Aus Sicht der Industrie war das Litterproblem kein technisches, sondern ein rein soziales Problem: „We see this as a social problem. There is nothing we can do about it – we only make the stuff“ (o.A. 1971b: 38), rechtfertigte sich z. B. ein britischer Kunststoffhersteller. „It is up to the public to learn to be more responsible about throwing it away“ (ebd.). Dementsprechend erforderte das Problem aus der Sicht vieler Kunststoffchemiker auch keine technische, sondern eine pädagogische, organisatorische oder strafrechtliche Lösung (E. Evans 1973: 7; Oberbacher 1974: 35). Die meisten Kunststoffhersteller hielten in den 1970er Jahren die „Entwicklung von abbaubaren Kunststoffen im Augenblick nicht für sinnvoll, sofern es dabei allein darum geht, diejenigen Kunststoffrückstände, die ungeordnet in freier Natur abgelagert werden, zum Verschwinden zu bringen“ (o.A. 1974c), wie z. B. der deutsche Höchst-Konzern Mitte der 1970er Jahre bekannt gab.

Zusammenfassend zeigt die Reaktion von anderen Kunststoffchemikern, Industrie und Kommentatoren in der Fachpresse, dass hier kaum jemand vom Konzept ‚abbaubarer Kunststoffe‘ überzeugt war und diese sogar als neues ökologisches Problem angesehen wurden. Während ‚abbaubare Kunststoffe‘ von Politikern, Verbrauchern und Umweltschützern gefordert und als Lösung für das Litterproblem erwartet wurden, wies der Großteil der Kunststoffindustrie die Idee ‚abbaubarer Kunststoffe‘ zurück. An dieser von mir skizzierten Kontroverse wird deutlich, dass

bereits in den frühen 1970er Jahren grundlegende Kritik an der Idee und Zweifel am Wertversprechen ‚abbaubarer Kunststoffe‘ formuliert wurden. Wie sich noch zeigen wird, nahm diese Kritik später Einfluss auf die Dynamik des Marktinnovationsprozesses.

Ein Kritikpunkt an ‚abbaubaren Kunststoffen‘, der zwar nicht häufig in der Diskussion auftauchte, aber hier abschließend – im Hinblick auf den weiteren Gang der Arbeit – doch erwähnenswert ist, war die Feststellung, dass es sich bei den von Scott, Guillet und anderen entwickelten Stoffen weiterhin um Materialien aus Erdöl handelte. Sowohl eine Studie für die *British Plastics Federation* als auch eine Studie für das *Bundesministerium für Forschung und Technologie* in Deutschland wiesen schon früh darauf hin, dass aus ökologischer Perspektive ein Abbau von Kunststoffen aus petrochemischen Rohstoffen auch deshalb unerwünscht sei, weil dadurch zusätzliches CO₂ in die Erdatmosphäre gelangen würde. So merkte Edward Evans für den britischen Verband der Kunststoffindustrie kritisch an, dass mit ‚abbaubaren Kunststoffen‘ aus fossilen Rohstoffen „[w]e will be converting valuable solid resources into a gas from which there is not, at the present time, a means of fixing the carbon again other than by slow natural biological process“ (E. Evans 1973: 27).

Ähnlich argumentierte auch Bonifaz Oberbacher, Forscher am Battelle-Institut in Frankfurt, der vom ökologischen Wert ‚abbaubarer Kunststoffe‘ auch deswegen nicht überzeugt war, weil „alle vollsynthetischen Kunststoffe derzeit und in überschaubarer Zukunft aus in geologisch abgeschlossenen Zeiträumen abgelagerten fossilen Brennstoffe, also aus Erdöl, Erdgas oder Kohle hergestellt werden“ (Oberbacher 1974: 11). Würde man aber das „Grundprinzip des Umweltschutzes“ konsequent auslegen, und das hieße „jede menschliche Tätigkeit mit einer geringstmöglichen Veränderung des ökologischen Gleichgewichts auszuführen“, dann sollten diese fossilen Ressourcen „nicht in CO₂ umgewandelt werden (...), sofern damit kein Nutzen verbunden ist“ (ebd.). Der Versuch, Kunststoffe aus petrochemischen Rohstoffen „durch biologischen Abbau in den natürlichen Kreislauf zurückzuführen“ (ebd.), übersehe, so Oberbacher, die Auswirkungen von CO₂ in der Atmosphäre.

Was Oberbacher hier allerdings nicht reflektierte, war die Tatsache, dass einige Chemiker seit der ersten Ölpreiskrise im Oktober 1973 bereits über die zukünftige Herstellung von Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen diskutierten. Wie ich weiter oben angedeutet hatte, waren pflanzliche Rohstoffe auch Teil von Gerald Scotts Vision einer zukünftigen Kunststoffindustrie, die auf dem

‚biologischen Kohlenstoffkreislauf‘ gründen würde. In den 1970er Jahren begannen Chemiker also nicht nur darüber nachzudenken, wie Kunststoffe an ihrem *Lebensende* mit ökologischen Prinzipien in Einklang gebracht werden könnten. Neben der Kritik an Kunststoffen als Abfallproblem wurde auch ihr *Lebensanfang*, also die Herkunft der Rohstoffe, als ökologisches und ökonomisches Zukunftsproblem diskutiert. Während ich im vorangegangenen Kapitel die Vision der (biologischen) Abbaubarkeit historisch verortet habe, werde ich in den zwei folgenden Kapiteln herausarbeiten, wie sich Biobasiertheit, also die Herstellung von Kunststoffen aus Pflanzen, seit Mitte der 1970er Jahre zu einer potentiell wertvollen Produkteigenschaft für Kunststoffe entwickelt hat.

3.4. Zwischenfazit

Im vorangegangenen Kapitel habe ich untersucht, wie sich (biologische) Abbaubarkeit von einer Produkteigenschaft, die in der Kunststoffentwicklung verhindert werden sollte, zu einer potentiell wertvollen Produkteigenschaft entwickelt hat. Dazu habe ich rekonstruiert, in welchem historischen Kontext Polymerchemiker erstmals auf die Idee kamen, Kunststoffe nicht mehr widerständig gegen den Einfluss natürlicher Zerfallsprozesse zu machen, sondern im Gegenteil dazu, sie willentlich zu einem ‚Abbau‘ in der natürlichen Umgebung zu bringen. In Kapitel 3.1. habe ich argumentiert, dass diese neue Idee wesentlich in einem historischen Wandel der mit Kunststoffen verknüpften Erwartungen am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren gründet. Während Kunststoffe seit ihrer Entstehung von ihren Entwicklern mit einer modernen und fortschrittlichen Zukunft in gesellschaftlicher, technischer und ökonomischer Hinsicht verknüpft wurden, formierte sich um 1970 eine neue ‚Krisengemeinschaft‘, die Kunststoffe mit der Vorstellung einer katastrophischen Zukunft in Verbindung brachte. Waren Kunststoffe traditionellerweise wegen ihrer mangelnden Qualität oder ihrer ästhetischen Minderwertigkeit kritisiert worden, bezog sich die Kritik an Kunststoffen jetzt auf ihre langfristigen Auswirkungen auf die natürliche Umwelt. Das Auftauchen der Stoffe als unsachgemäß entsorgter Abfall weckte die Vorstellung einer endlosen Akkumulation künstlicher Stoffe in der Natur und provozierte Kritik an ihrer Resistenz gegenüber natürlichen Zerfallsprozessen.

Wie Luc Boltanski und Laurent Thévenot deutlich gemacht haben, lassen sich an den Argumenten, mit denen Akteure öffentlich Kritik üben, kulturell geteilte Wertvorstellungen ablesen, auf die Akteure verweisen können, um ihre Position zu rechtfertigen (Boltanski und Thévenot [1991] 2014). Die zunehmende ökologische Kritik an Kunststoffen zeigt daher, dass um 1970 in

westlichen Gesellschaften eine ‚grüne‘ Konvention an Bedeutung gewann, in der industriellen Gütern nicht mehr im Hinblick auf ihre Nutzungsqualität, sondern im Hinblick auf ihre Interaktion mit der natürlichen Umwelt Wert zugeschrieben wurde. Der Gebrauchswert von Kunststoffen als leichtes und günstiges Verpackungsmaterial geriet nun in Konflikt mit ihrem ökologischen Wert. Am Beispiel von Barry Commoners Bestseller *The Closing Circle* habe ich das Ideal des geschlossenen Kreislaufs als den Kern des ‚grünen‘ Wertprinzips dargestellt. Kunststoffe waren für Ökologen wie Commoner der Inbegriff des Ausbruchs moderner Gesellschaften aus dem natürlichen Kreislauf und wurden daher als besonders umweltfeindlich kritisiert.

In Kapitel 3.2. habe ich herausgearbeitet, wie als Reaktion auf die ökologische Kritik eine Auseinandersetzung über die Zukunft der Kunststoffe entstand. Während Commoner hier stellvertretend für Stimmen steht, die zu einer Abkehr von der Kunststofftechnologie aufriefen, gab es in der Öffentlichkeit auch viele Stimmen, die die Industrie dazu aufforderten, eine technologische Lösung für das Problem des Kunststofflitters zu finden. Politiker und Verbraucher forderten am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren die Entwicklung von ‚(biologisch) abbaubaren Verpackungen‘. Auch Kunststoffchemiker selbst setzten sich nun mit möglichen technologischen Innovationen auseinander. Eine kleine Gruppe von Polymerchemikern an Universitäten und in industriellen Forschungsabteilungen begann damit, Kunststoffe zu entwickeln, die durch Sonnenlicht oder Mikroorganismen zum ‚Abbau‘ gebracht werden sollten. Am Beispiel der Publikationen von James Guillet und Edward Scott habe ich gezeigt, wie Kunststoffchemiker den ökologischen Katastrophenszenarien eine technikoptimistische Vision entgegenstellten, die das neue Idealprinzip des natürlichen Kreislaufs inkorporierte, aber keinen radikalen Wandel forderte, sondern eine Vereinbarkeit von Kunststofftechnologie und Umweltschutz behauptete. Anstatt einer Verhaltensänderung auf Seiten von Kunststoffherstellern und -konsumenten oder einer Reduktion von Kunststoffen in Verpackungsmärkten, stellten die Polymerforscher in Aussicht, dass ein *technological fix* ausreichen würde, um das Abfallproblem zu lösen. Das Wertversprechen der ‚Abbaubarkeit‘ gründet auf dieser Behauptung, man könne an der Kunststofftechnologie an sich festhalten, ohne einen ökologischen Schaden zu verursachen.

Im letzten Teil des Kapitels (3.3.) habe ich allerdings gezeigt, dass die Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ bereits zu ihrem Entstehungszeitpunkt höchst umstritten war. Während ‚abbaubare Kunststoffe‘ in der fachfremden Öffentlichkeit gefordert und als Lösung für das Abfallproblem erhofft wurden, konnte die Idee der ‚Abbaubarkeit‘ andere Polymerforscher und den Großteil der

Kunststoffindustrie nicht überzeugen. An dieser Diskrepanz von öffentlichen und fachspezifischen Erwartungen wird auch deutlich, dass die Überzeugungskraft einer technologischen Vision zwischen unterschiedlichen Akteursgruppen stark variieren kann (Brown und Micheal 2003). Unter Akteuren, die sich weit entfernt von der Kunststoffentwicklung befanden, waren die Erwartungen an das Potential ‚abbaubarer Kunststoffe‘ wesentlich größer als unter Akteuren, die selbst in der Kunststoffentwicklung tätig waren oder sich in Fachpublikationen damit auseinandersetzten. Die bereits früh geäußerten Zweifel an der Realisierbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit ‚abbaubarer Kunststoffe‘ werden später die Ausrichtung des Marktinnovationsprozesses beeinflussen. Bevor ich jedoch im zweiten Teil dieser Arbeit analysiere, wie Unternehmen versucht haben, einen Markt für ‚abbaubare Kunststoffe‘ aufzubauen und auf welche Widerstände sie dabei stießen, werde ich zunächst die Genese der Wertigkeit von Biobasiertheit als zweiter charakteristischer Produkteigenschaft heutiger Biokunststoffe in den Blick nehmen.

4. Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen – Die Reaktivierung einer alten Vision

Im vorangegangenen Kapitel habe ich mich mit dem historischen Entstehungskontext der Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ um 1970 befasst. Obwohl es sich bei den in den 1970er Jahren entwickelten Technologien nicht um heutige Biokunststoffe handelt, verorte ich hier dennoch einen Einsatzpunkt der Entwicklung gegenwärtiger Biokunststoffmärkte. Ich habe gezeigt, wie in der Kunststoffentwicklung eine neue Qualifizierungsstrategie entstand, die Kunststoffe mit Bezug auf ein ökologisches Wertprinzip von anderen Kunststoffen abgrenzt. Kern dieses Wertprinzips ist das Ideal des geschlossenen Kreislaufs, auf das sich auch in der gegenwärtigen Biokunststoffbranche weiterhin berufen wird. In der Einleitung der Arbeit hatte ich allerdings bereits darauf hingewiesen, dass es sich bei der Entwicklung von Biokunststoffen nicht um einen eindimensionalen Prozess handelt, der sich von der Entstehung *einer* Idee, über deren Realisierung bis zu ihrer Vermarktung nachvollziehen lässt. Aufgrund der Mehrdeutigkeit der Produktkategorie der Biokunststoffe lassen sich unterschiedliche Einsatzpunkte des Marktinnovationsprozesses ausmachen. Parallel zum vorangegangenen Kapitel untersuche im folgenden Kapitel daher, wie sich *Biobasiertheit*, d. h. die Herstellung von Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen, seit den 1970er Jahren zu einer potentiell wertvollen Eigenschaft für Kunststoffe entwickelt hat.

Im Gegensatz zur Idee ‚abbaubarer Kunststoffe‘ war die Idee, Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen herzustellen, zu diesem Zeitpunkt allerdings nicht neu. Die Geschichte pflanzlicher Rohstoffe in der Kunststoffentwicklung reicht sogar zurück bis an die Anfänge der Kunststoffindustrie selbst. Die Herstellung von Zelluloid im 19. Jahrhundert, einem der ersten Kunststoffe überhaupt, basierte auf dem pflanzlichen Rohstoff Zellulose. Auch in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erforschten, entwickelten und patentierten Polymerchemiker Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen, die allerdings seit den 1950ern nicht mehr den Weg aus dem Labor in den Markt fanden (Shen, Worrell und Patel 2010: 27). Anders als im Fall der Abbaubarkeit, handelte es sich bei der Idee *biobasierter Kunststoffe* also nicht um die Entstehung einer neuen, sondern vielmehr um die *Reaktivierung* einer alten Vision. Das Kapitel untersucht, wie es zu dieser Reaktivierung kam.

Ich zeige im Folgenden, dass der industriellen Nutzung pflanzlicher Rohstoffe in drei unterschiedlichen gesellschaftlichen Zusammenhängen – in der Chemie- und Kunststoffindustrie, unter Vertretern des Umweltschutzes und in politischen Institutionen – aus unterschiedlichen

Gründen Wert zugeschrieben wurde. In allen drei gesellschaftlichen Bereichen entstand in den 1970er und 1980er Jahren eine Auseinandersetzung über die Zukunft der Rohstoffgrundlage industrieller Produktionsprozesse als Reaktion auf unterschiedliche kollektive Krisendiagnosen. Dabei knüpften verschiedene Akteure unterschiedliche Erwartungen und Gesellschaftsvisionen an die Entwicklung von Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen. Während sich die Erwartungen an (biologische) Abbaubarkeit in einem relativ umgrenzten Problemkontext gebildet haben, zeige ich im Folgenden, dass mit der Entwicklung biobasierter Kunststoffe unterschiedliche, mitunter auch widersprüchliche Hoffnungen verbunden wurden.

Das Kapitel beginnt mit der Auseinandersetzung über die Rohstoffzukunft in der Chemie- bzw. Kunststoffindustrie im krisengeprägten Jahrzehnt der 1970er Jahre (4.1.). Welche Erwartungen herrschten in der Industrie an die Entwicklung von Rohstoffpreisen und -verfügbarkeit in den 1970er Jahren? Diese Erwartungen bezeichne ich als *ökonomische Erwartungen* an pflanzliche Rohstoffe. Im zweiten Abschnitt (4.2.) beschäftige ich mich hingegen mit *ökologischen Erwartungen* an nachwachsende Rohstoffe. Diese verorte ich im ökologischen Diskurs über die Grenzen des Wachstums in den 1970er Jahren. Welche Erwartungen hatten Vertreter des Umweltschutzes an die Rohstoffzukunft in den 1970er Jahren? Im letzten Abschnitt des Kapitels widme ich mich den Erwartungen, die sich im Kontext technologiepolitischer Diskurse entwickelten (4.3.). Während die ersten beiden Abschnitte vor allem den US-amerikanischen Raum abbilden, liegt der Fokus im dritten Teil des Kapitels auf der Europäischen Gemeinschaft, genauer gesagt, auf ersten technologischen Foresight-Verfahren der Europäischen Kommission in den frühen 1980er Jahren. Welche Erwartungen an Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen formierten sich im Kontext europäischer Technologiepolitik in den 1980er Jahren? Diese Erwartungen bezeichne ich als *technologiepolitische Erwartungen* an pflanzliche Rohstoffe.

4.1. Neue Unsicherheiten, alte Visionen: Ökonomische Erwartungen in der Chemie- und Kunststoffindustrie

Ökonomische Erwartungen auf der Seite potentieller Produzenten sind eine Voraussetzung dafür, dass neue Innovationsstrategien verfolgt werden und in die Entwicklung neuer Technologien investiert wird. Die Produzentenseite erwartet primär einen ökonomischen Vorteil von neuen Technologien. Im Zentrum der ersten Auseinandersetzung über die Zukunft stehen daher *ökonomische Erwartungen* an die Notwendigkeit einer neuen Rohstoffgrundlage in der Chemie- bzw. Kunststoffindustrie. Die Frage nach der Notwendigkeit alternativer Rohstoffe kam auf, als

die Erdölversorgung der Industrieländer Anfang der 1970er Jahre problematisch zu werden schien, und damit festgelaubte Gewissheiten ins Wanken gerieten. Während die ökologische Kritik, die zur Idee ‚abbaubarer Kunststoffe‘ führte, die moderne Kunststofftechnologie vor allem von außen in Frage stellte, wurden steigende Rohstoffpreise in den 1970er Jahren von der chemischen Industrie selbst als Problem definiert. Steigende Erdölpreise waren ein neuer Unsicherheitsfaktor, der die ökonomische Grundlage ihrer Produktionsprozesse betraf.

So gründete die chemische Industrie bis in die 1960er Jahre auf der unhinterfragten ökonomischen Grundlage günstiger und unlimitierter petrochemischer Rohstoffe. In den zwei Jahrzehnten seit dem Zweiten Weltkrieg hatte sich, ausgehend von den USA, eine chemische Industrie etabliert, die fundamental mit der Erdölwirtschaft verflochten war. Aufgrund des günstigen Preises und der Qualität der petrochemischen Ausgangsstoffe wurde Erdöl zur primären Rohstoffquelle für die Herstellung von Kunststoffen und den meisten anderen chemischen Produkten. Dabei stellte sich bis in die 1970er Jahre nicht die Frage, ob dies auch in Zukunft weiterhin der Fall sein würde. Die Handlungsroutinen der erdölbasierten Chemieindustrie wurden kaum in Frage gestellt. Vielmehr schien die chemische Industrie in den 1950er und 1960er Jahren unter der Annahme beinahe grenzenloser Erdöl- und Erdgasressourcen zu operieren. In diesem Zeitraum waren Erwartungen an die vorhandenen Erdölmengen grundsätzlich von Optimismus geprägt (Graf 2014: 43f.; Priest 2014: 45). Obwohl der Geologe Marion King Hubbert bereits seit Mitte der 1950er Jahre vor einem Fördermaximum, dem sogenannten „Peak Oil“, warnte, konnte er die herrschende Erwartung eines Überflusses an fossilen Rohstoffen zunächst nicht brechen (Priest 2014: 45).

Zu Beginn der 1970er Jahre wurde das ressourcenoptimistische Narrativ der Nachkriegszeit allerdings zunehmend brüchig und es entstand eine Auseinandersetzung über die Rohstoffzukunft in der chemischen Industrie. Ein Auslöser dafür war, dass schon zu Beginn der 1970er Jahre die Erdölförderung in den USA tatsächlich einen Höhepunkt durchlief und die Nachfrage begann, das Angebot zu überschreiten (Graf 2014: 48). Die zuvor optimistischen Einschätzungen vorhandener Erdölreserven des *Geological Surveys* wurden jetzt zunehmend in Frage gestellt, pessimistischere Einschätzungen gewannen an Einfluss und Hubberts These absoluter Fördergrenzen wurde im Diskurs anschlussfähiger (Priest 2014: 64ff.). Bis Mitte der 1970er Jahre vertrat eine zunehmende Zahl renommierter Energieexperten die Ansicht, dass ein Ende des Erdöls bereits vor dem Jahr 2000 erreicht sein könnte (Graf 2010: 236). Und auch die Vertreter der arabischen erdölfördernden

Staaten, die sich in der OAPEC zusammengetan hatten, befeuerten als politische Druckmaßnahme auf den Westen die Vorstellung sich erschöpfender Ölreserven (ebd.).

Neben der Sorge um die ‚Energiesicherheit‘ kämpfte die amerikanische Chemieindustrie schon vor der eigentlichen Ölpreiskrise mit ganz konkreten Versorgungsengpässen. Bereits in den frühen 1970er Jahren wurde angesichts von Versorgungsengpässen eine „Energiekrise“ diagnostiziert und „düstere Vorhersagen für die zukünftige Energiesicherheit“ (Graf 2014: 127) gemacht. Die Ölversorgungsengpässe der frühen 1970er Jahre spürte auch die von petrochemischen Rohstoffen abhängige Kunststoffindustrie. So waren die Kunststoffhersteller einerseits mit einer wachsenden Nachfrage nach Kunststoffen konfrontiert, bei gleichzeitiger Knappheit von petrochemischen Rohstoffen wie Ethylen, Styrol und Propylen. Diese Diskrepanz hatte schon vor der eigentlichen Ölpreiskrise zu Produktionsengpässen in der Kunststoffindustrie geführt. Berichte in Fachzeitschriften der Kunststoffindustrie zeigen, dass sich amerikanische Kunststoffhersteller schon zu Beginn des Jahres 1973 nicht mehr ausreichend mit petrochemischen Rohstoffen versorgen konnten, um die steigende Nachfrage nach Kunststoffen zu befriedigen. „How critical is the energy crisis?“ (o.A. 1973: 20), fragte ein Autor in *Modern Plastics* schon im Februar 1973 und warnte die Kunststoffhersteller vor zu viel Optimismus bei der Frage nach dem zukünftigen Rohstoffangebot.

Mit der ersten Ölpreiskrise im Oktober 1973 spitzte sich die Situation in der chemischen Industrie zu. Kunststoffhersteller in den USA, Europa und Japan waren zu diesem Zeitpunkt bereits weitgehend abhängig von Erdölimporten aus dem Nahen und Mittleren Osten. Die USA importierte 1973 ca. 36 Prozent des gesamten Erdölverbrauchs. Europa und Japan waren fast vollständig von Erdölimporten abhängig (Lieber 1983: 3). Mit dem Ausstieg der erdölfördernden Länder aus den Preisverhandlungen mit den internationalen Ölkonzernen, der Drosselung der Fördermenge, dem Handelsembargo, das die arabischen Staaten gegen die Unterstützer Israels im Yom Kippur Krieg verhängten, und dem Anheben des Ölpreises auf über elf Dollar, erreichte die Krisenwahrnehmung in der Industrie einen Höhepunkt. „The plastics industry, at this particular time, is facing more major crises than it has ever confronted before – all at once“ (Gross 1973c: 61), diagnostizierte zum Beispiel der Herausgeber des Kunststoffmagazins *Modern Plastics*, Sidney Gross, zum Ende des Jahres 1973. Neben der ökologischen Kritik hatte sich nun die Rohstoffversorgung zu einem weiteren Krisenphänomen entwickelt, auf das die chemische Industrie reagieren musste. Dabei verschärften sich mit dem Anstieg der Ölpreise nicht nur die

ökonomischen Realitäten. Die neue Erfahrungswirklichkeit von Produktionsengpässen und Preissteigerungen ließ auch die Zukunft in einem neuen Licht erscheinen. Im Theoriekapitel der Arbeit hatte ich darauf hingewiesen, dass Krisen nicht einfach objektiv gegeben sind, sondern immer auch von den Interpretationen der betroffenen Akteure abhängen. Wie also wurde die Ölpreiskrise in der Kunststoffindustrie interpretiert? Wie veränderten sich Vorstellungen von der Zukunft in den 1970er Jahren?

In der akuten Krisenphase in den Jahren 1973 und 1974 herrschte, wie Artikel in der Fachzeitschrift *Modern Plastics* zeigen, angesichts der unklaren Prognoselage, Unsicherheit über die Dauer und Auswirkungen der akuten Rohstoffknappheit. In kurzfristiger Perspektive ging der Herausgeber von *Modern Plastics* davon aus, dass die Rohstoffknappheit zu einem Einbruch der traditionell hohen Wachstumsraten der Kunststoffindustrie führen würde und dass langfristig mit steigenden Preisen zu rechnen wäre (Gross 1973b: 66). Andere Prognosen sagten jedoch auch eine langfristige Rohstoffknappheit voraus, die mehrere Jahre oder gar Jahrzehnte umfassen könnte. So hieß es in *Modern Plastics*:

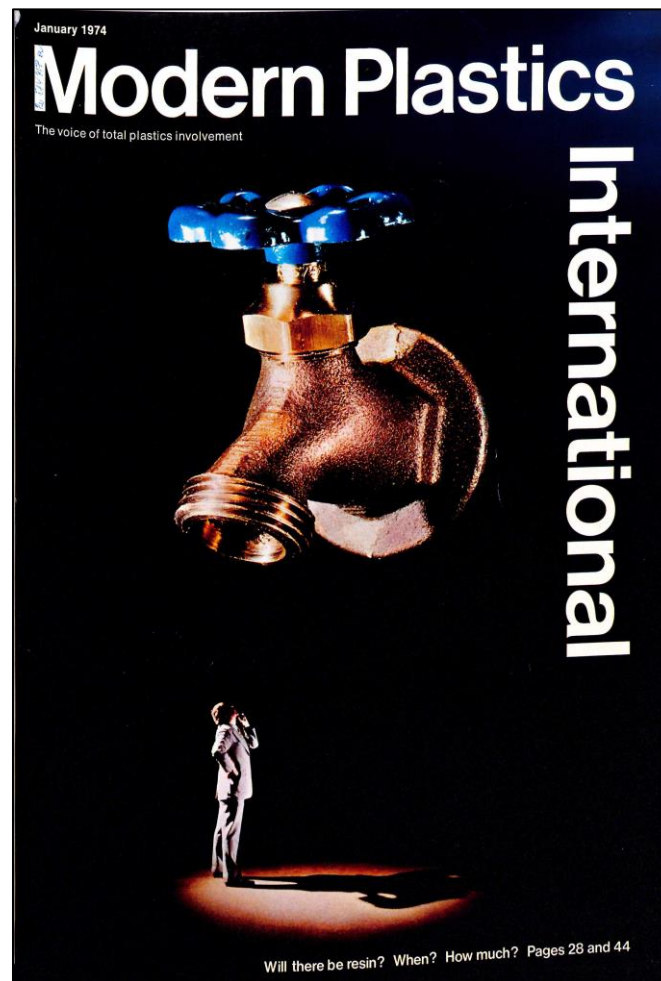
„The deepening global crisis in the availability of petroleum and natural gas has reached the point where some observers now openly speculate that there will not be much relief in monomer feedstocks before 1980 – which is several years beyond industry’s expectations. And if you are ready for real pessimism, Dr. John J McKetta (...) predicts that the crunch in raw materials supply will last until the turn of the century, with only slight alleviation of shortages in the interim“ (MacBride 1973: 12).

In den USA bestand ein wesentliches Problem für die chemische Industrie darin, dass die Regierung der Verwendung von Erdöl für die Herstellung von Kunststoffen im Kontext der Versorgungskrise nur wenig Priorität zusprach. Es bestand also die Befürchtung, dass Erdöl primär für die Bereitstellung von Energie verwendet werden und nicht mehr für die Herstellung chemischer Produkte bereitstehen würde. Angesichts dieser Befürchtung sagte eine Studie z. B. voraus, dass staatliche Erdölverteilungsprogramme „will disrupt the plastic industry to the tune of \$22 billion in lost domestic production value, and will put a half-million people out of work“ (ebd.). Der Herausgeber von *Modern Plastics International* spekulierte darüber, dass die chemische Industrie in Zukunft um ihren Anteil am verfügbaren Erdöl kämpfen müsste (Keillur 1973: 19). Ebenso herrschte aber auch in der europäischen Kunststoffindustrie, angesichts ihrer weitgehenden Abhängigkeit von ausländischen Importen, Sorge um die zukünftige Versorgung mit petrochemischen Rohstoffen (o.A. 1974d: 28).

Die Unsicherheit über die zukünftige Rohstoffversorgung in der akuten Krisenphase zwischen 1973 und 1974 findet sich besonders eindrücklich verbildlicht auf dem Cover der Januarausgabe von *Modern Plastics International* im Jahr 1974. Ein Vertreter der Kunststoffindustrie blickt hier fragend nach oben zu einem geschlossenen Hahn. Darunter die Frage: „Will there be resin? When? How much?“ (o.A. 1974e). Im begleitenden Editorial beschreibt der Herausgeber die unsichere Rohstoffversorgung, die über die akute, von den arabischen Ländern ausgelöste Krise hinaus gehen, und die Wachstumsraten der Kunststoffindustrie längerfristig beeinträchtigen würde:

„The turn of the year is a traditional time for taking stock, for looking back and looking ahead. But as the plastics industry enters 1974, uncertainty about the impact of reductions in oil shipments by Arab countries clouds the overall economic outlook and the materials supply picture for at least the first half of the year. The gravity of the current oil shortage should by no means be minimized, but we must not let our preoccupation over its short-term consequences obscure the probable long-term effect of higher oil costs and other key factors governing plastic prices, supplies, and markets over the next few years. When the current crisis winds down, materials will still be in tight supply (...). Feedstock problems are not expected to be straightened out until 1976 or so (...) and the current uncertainty over availability and prices of oil supplies is further delaying the easing of feedstock shortages. Thus during the next few years, the overall growth of the industry will be limited by material availability rather than by success or failure in penetrating new markets“ (Keillur 1974: 17).

Abb. 5: Cover *Modern Plastics International*, Januar 1974



Während zu Beginn des Jahres 1974 die Versorgung mit ausreichend petrochemischen Rohstoffen das drängendste Problem in der Kunststoffindustrie war, konfrontierte die sich an die Ölpreiskrise anschließende wirtschaftliche Rezession die Kunststoffindustrie erstmals in ihrer Geschichte mit einem Einbruch ihrer traditionell hohen Wachstumszahlen. Dies ließ, wie der Herausgeber von *Modern Plastics* beobachtete, einige Hersteller, in Panik verfallen. Jedenfalls rief Sidney Gross die Industrie dazu auf, Ruhe zu bewahren und sich auf die eigene Stärke zu besinnen:

„Don't panic. The fundamental underpinning of the American economy in general, and of the plastics industry in particular, is sound and will serve as a solid base for the recovery that we believe will get under way (although slowly) at mid-year. No economic activity can move up forever. (...) Yet, voices of gloom are now heard in our industry“ (Gross 1975b: 41).

Seit Mitte des Jahres 1975 schienen sich die Verkaufszahlen tatsächlich wieder zu erholen, was als Zeichen für einen „coming return to a more normal economy“ (MacBride 1975: 14) interpretiert wurde. In *Modern Plastics* schrieb der Herausgeber entsprechend: „It looks as if we're indeed

moving out of the valley. Perhaps we were stuck there a little longer than we thought, but we're on our way up. It was a tough stay, and not all survived“ (Gross 1975a: 37).

Während die akute Krise überwunden schien, nahmen die Herausgeber von *Modern Plastics* die Krisenerfahrungen der letzten zwei Jahre zum Anlass, darüber zu reflektieren, was sich in Zukunft in der Kunststoffindustrie verändern würde. Ein langer Report mit dem Titel *1975-2000: Plastics – the next 25 years* aus der Oktoberausgabe von 1975 bringt zum Ausdruck, dass die Ölpreiskrise und die sich anschließende wirtschaftliche Rezession vor allem als fundamentaler *Wendepunkt* interpretiert wurde:

„73-74-75 was a true watershed. The one-two punch of energy/feedstock crisis and recession that hit the plastics industry between 1973 and 1975 staggered it to its foundations. (...) It did something else as well. It shocked us into the realization that the world of plastics somehow had changed...and changed permanently. (...) From here on in, the plastic industry is going to be quite different from the wild and woolly, almost-anything-goes business it used to be. Working – and succeeding – in it is going to call for whole new ways of doing things. Like the man said: a new ballgame“ (Editors 1975: 39).

Nach Ansicht der Autoren hatten sich innerhalb der kurzen Zeit zwei Dinge grundsätzlich verändert, die die Zukunft der Kunststoffindustrie fundamental prägen würden. Neben umwelt-, gesundheits- und sicherheitspolitischen Eingriffen in Kunststoffmärkte sahen die Autoren die Verknappung des Angebots petrochemischer Ausgangskemikalien als zweite zentrale zukunftsrelevante Veränderung (ebd.). Die Herausgeber von *Modern Plastics* prognostizierten nun eine Zukunft, in der die ungehinderte Ausweitung von Produktionskapazitäten bei ständig fallenden Preisen, die die Kunststoffindustrie in den 1960er Jahren gekennzeichnet hatte, endgültig vorbei sein würde. Die Vergangenheit würde abgelöst von einer Phase ‚geordneter Ausweitung‘, in der Preise weiter steigen und das Angebot an Kunststoffen weiter knapp sein würde (ebd.: 40).

Während zuvor also die Annahme von Kontinuität die Aussicht auf das Kommende bestimmt hatte, verloren einstige Gewissheiten in der Kunststoffindustrie mit der Ölpreiskrise und dem Anstieg des Erdölpreises ihre Gültigkeit. Die Erfahrung des ‚Ölpreisschocks‘ schien das prekäre Fundament aus billigen Erdölimporten, auf dem das Geschäft mit den synthetischen Stoffen gebaut war, erstmals wirklich spürbar gemacht zu haben. Die ‚relativ geordnete Nachkriegswelt‘ schlug, wie ein Chemiker aus eigener Erfahrung berichtete, in der petrochemischen Industrie in den 1970er Jahren um in eine ‚Periode von Instabilität und Wandel‘ (Spitz 1988: 504).

Obwohl der Blick in die Zukunft im Jahr 1975 wieder optimistischer war und die „predictions of gloom“ (o.A. 1975c: 102) aus der akuten Krisenphase jetzt als übertrieben galten, blieb der Erdölpreis in den 1970er Jahren ein zentraler Unsicherheitsfaktor für die Industrie. In der Kunststoffindustrie herrschte jetzt die Erwartung steigender Kunststoffpreise bei gleichzeitiger Unsicherheit über die *konkrete* Preisentwicklung. So konnte der oben zitierte Zukunftsreport zwischen 1975 und 1980 zum Beispiel kein klares Bild der Preisentwicklung zeichnen. Die langfristige Richtung schien allerdings vollkommen eindeutig: „from now on it's all up“ (Editors 1975: 49), prognostizierten die Autoren des Berichts. Mit der zweiten Ölpreiskrise im Jahr 1979 schien sich diese Annahme zu bestätigen. Der Erdölpreis stieg nun nochmals auf 40 Dollar pro Fass. Weitere Preissteigerungen wurden prognostiziert. Noch zu Beginn der 1980er Jahre waren die Herausgeber von *Modern Plastics International* (fälschlicherweise) davon überzeugt, „that petroleum prices will continue to rise sharply and constantly during the year and during the decade“ (o.A. 1980a: 5).

Die Erwartung weiterer Preissteigerungen rückte in der Industrie zunehmend die Frage nach der Wettbewerbsfähigkeit von petrochemischen Produkten in den Fokus. Hatten Kunststoffe seit dem Zweiten Weltkrieg einen Großteil älterer Materialien wie Holz, Wolle, Papier oder Glas aus Konsumgüter- und Verpackungsmärkten verdrängt, sorgten sich Kunststoffhersteller nun über die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte (Spitz 1988: 498). Auf Konferenzen, in Studien und der Fachpresse beschäftigte sich die internationale Kunststoffindustrie mit der Frage: „How will rising feedstock prices affect plastics' competitive role?“ (o.A. 1980b: 4). Die Berichterstattung in der Kunststoffpresse macht deutlich, dass Kunststoffhersteller dabei grundsätzlich zuversichtlich in die Zukunft blickten. Da nicht nur Kunststoffe, sondern auch potentielle Konkurrenzmaterialien in der Herstellung von den steigenden Erdölpreisen betroffen waren, rechneten die Kunststoffhersteller größtenteils nicht mit einem Verlust der Wettbewerbsfähigkeit (o.A. 1980a: 5; 1979b: 13). Dennoch herrschte jetzt „considerable nervousness around the issue“ (Spitz 1988: 485). Zu dieser ‚Nervosität‘ trugen nicht zuletzt widersprüchliche Prognosen bei, die kein eindeutiges Bild der Zukunft zuließen. Während einige Prognosen kaum Einbuße der Marktanteile vorhersagten, sahen andere zunehmend Schwierigkeiten die Marktposition gegen traditionelle Materialien zu verteidigen (ebd.: 498ff.). Damit setzte sich fort, was die Industrie seit der ersten Ölpreiskrise begleitete – ein neuer unsicherer Blick in die Zukunft.

In Krisenzeiten nimmt die Auseinandersetzung mit der Zukunft zu und der Horizont an Möglichkeiten wird neu erschlossen. Galt die Versorgung mit günstigem Öl zuvor als selbstverständlich, forcierten der tatsächliche Anstieg des Erdölpreises und die Prognosen weiterer Preisanstiege eine Auseinandersetzung mit der langfristigen Rohstoffgrundlage industrieller Prozesse. Die Unsicherheit über die zukünftigen Rohstoffpreise öffnete den Raum für alternative Zukunftsentwürfe. In den 1970er Jahren setzte in der Industrie eine Suchbewegung nach möglichen Alternativen zum Erdöl ein. Dabei wurden unterschiedliche alternative Rohstoffquellen in Erwägung gezogen. Während pflanzliche Rohstoffe bis in die frühen 1970er Jahren kaum Relevanz in der Chemieindustrie hatten, diskutierten Wissenschaftler und Industrievertreter nun auch über die technischen und ökonomischen Aussichten der industriellen Nutzung pflanzlicher Rohstoffe und der Anwendung des biotechnologischen Verfahrens der Fermentation⁹ zur Herstellung von Ausgangskemikalien für die Kunststoffherstellung. Wer aber brachte die Vision einer auf pflanzlichen Rohstoffen gründenden Chemieindustrie in den Diskurs um die Rohstoffzukunft ein?

Die Revitalisierung der chemurgischen Vision

Die Wahrnehmung einer unsicheren Rohstoffzukunft in der Chemieindustrie öffnete in den 1970er Jahren den Raum für die Revitalisierung alter Träume aus dem frühen 20. Jahrhundert. Dabei ist die Revitalisierung der Vision einer Chemieindustrie, die auf pflanzlichen Rohstoffen gründet, im Kontext der beiden Ölpreiskrisen insofern nicht überraschend, als sie historisch betrachtet immer schon Ausdruck einer gesteigerten gesellschaftlichen Krisenwahrnehmung war. Pflanzlichen Rohstoffen wurde in der Geschichte industrieller Produktionsprozesse vor allem dann Potential zugesprochen, wenn die Zukunft der Rohstoffversorgung als unsicher galt und internationale Wirtschaftsverflechtungen die Souveränität von Nationalstaaten gefährdete (Bud 1995).

In Europa reicht die Hoffnung auf eine Industrie, die mit Hilfe von Mikroorganismen aus pflanzlichen Rohstoffen Chemikalien herstellt, bis in die ersten biotechnologischen Forschungseinrichtungen im 19. und frühen 20. Jahrhundert zurück. Insbesondere im Ersten Weltkrieg als die Versorgung mit ausländischen Rohstoffen knapp wurde, wuchsen in Deutschland und Großbritannien die Hoffnungen auf einen neuen Industriezweig, der sich das Verfahren der

⁹ Unter Fermentation versteht man die Umwandlung organischer Stoffe in Alkohol, Säuren oder Gase durch Mikroorganismen oder isolierte Enzyme. Als industrielles Verfahren kommt sie sowohl bei der Herstellung von Lebensmitteln zum Einsatz als auch im Rahmen der industriellen Biotechnologie zur Herstellung von Produkten wie Ethanol, Aminosäuren, organischen Säuren, Antibiotika oder mikrobiellen Polymeren.

Fermentation zu Nutzen machen würde, um landwirtschaftliche Produkte in Chemikalien umzuwandeln und sich damit von ausländischen Rohstoffimporten unabhängig zu machen (ebd.: 46ff.).

Besonders dominant war die Vision einer biobasierten Chemieindustrie aber in landwirtschaftlich geprägten Regionen in den USA in den 1920er und 1930er Jahren (ebd.: 62). Hier war es nach dem Ersten Weltkrieg zu einer Überschussproduktion landwirtschaftlicher Produkte gekommen, zu einer Zeit als Erdöl noch als knapp galt und internationale Handelsspannungen das industrielle Interesse auf die Entwicklung heimischer pflanzlicher Rohstoffe lenkte. In diesem historischen Kontext etablierte sich die sogenannte Chemurgie-Bewegung, eine wirtschaftsnationalistisch gefärbte Bewegung aus Industriellen, Wissenschaftlern und landwirtschaftlichen Interessenvertretern, die sich für eine neue industrialisierte Landwirtschaft einsetzte, die anstatt lediglich Lebensmittel zu produzieren zum Rohstofflieferanten für die aufstrebende chemische Industrie werden sollte (Beeman 1994; Ferguson 2012; Finlay 2003). Chemurgisten verfolgten primär drei Ziele: die Entwicklung neuer Verwendungen für landwirtschaftliche Produkte abseits der Nahrungsmittelproduktion, die Züchtung neuer Industriepflanzen und die Schaffung neuer Absatzmärkte für landwirtschaftliche Abfälle (Finlay 2003: 34).

Zu den prominentesten Visionären der Chemurgie-Bewegung zählte William Hale, der Forschungsdirektor des Chemieunternehmens *Dow Chemical*. In häufig flammenden Worten trug er seine Ideen in die amerikanische Öffentlichkeit. „Farming must become a chemical industry“ (Hale 1926), lautete der Titel einer seiner Publikationen aus dem Jahr 1926, in der er eine Zukunft voraussah, in der traditionelle Farmen durch riesige industrialisierte Landwirtschaftszentren ersetzt worden wären, die Rohstoffe für die Herstellung von Kraftstoffen, Farben, Fasern, Papier und Kunststoffen produzieren würden. Vertreter der Chemurgie-Bewegung, zu der auch berühmte Industrielle wie Henry Ford gehörten, imaginierten eine biobasierte Chemieindustrie als Allheilmittel für die gravierendsten Probleme der amerikanischen Gesellschaft. Sie versprachen einen Weg aus der landwirtschaftlichen Überproduktion, Unabhängigkeit von ausländischen Rohstoffimporten, und damit nationalstaatliche Souveränität, eine Lösung für die grassierende Arbeitslosigkeit, ein politisches Kontrastprogramm zum New Deal, den Erhalt der (zu diesem Zeitpunkt als knapp geltenden) fossilen Rohstoffe und auch eine Verbesserung der Luftqualität durch saubere Abgase (Beeman 1994). In den 1930er Jahren machten diese Versprechen die Bewegung in der amerikanischen Bevölkerung populär und politisch einflussreich.

An unterschiedlichsten Stellen forschten Chemiker in den 1930er und 1940er Jahren an biobasierten Chemieprodukten. Henry Ford etwa gründete das *Edison Institute*, dessen Arbeiten sich auf industrielle Nutzungsmöglichkeiten für Sojabohnen konzentrierte. Ein berühmtes Foto zeigt Ford dabei, wie er aus Demonstrationszwecken mit einer Axt auf ein Auto einschlägt, dessen Motorhaube aus Kunststoff aus Sojabohnen bestand (siehe Abb. 6). Anderswo arbeiteten Chemurgisten an der Herstellung von Chemikalien wie Butanol, Aceton, Butylalkohol, Furfural oder Glycerin aus pflanzlichen Rohstoffen (Finlay 2003: 36f.). Der Fokus chemurgischer Visionen lag allerdings nicht auf der stofflichen Verwendung von pflanzlichen Rohstoffen, sondern auf ihrer energetischen Verwendung als Kraftstoffe. In den frühen 1930er Jahren schufen einige Staaten im mittleren Westen der USA Steuererleichterungen für sogenanntes „Agrol“, eine Kraftstoffmischung aus (pflanzenbasiertem) Alkohol und Benzin; Ende der 1930er Jahre wurden bereits 15 Millionen Gallonen Agrol-Kraftstoff verkauft (ebd.).

Abb. 6: Henry Ford schlägt mit einer Axt auf eine Motorhaube aus Sojabohnen-Kunststoff



Spätestens nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs verlor die chemurgische Vision – forciert durch die Lobbyarbeit der nun aufsteigenden Ölindustrie – jedoch immer mehr an Überzeugungskraft, während Erdöl zum primären Rohstoff für die chemische Industrie aufstieg (ebd.: 42). Trotz ihrer langen Geschichte konnte sich die Vision einer biobasierten Chemieindustrie also nie wirklich

realisieren. Nachwachsende Rohstoffe und biotechnologische Herstellungsverfahren spielten in der Chemieindustrie westlicher Industrieländer seit den 1950er kaum mehr eine Rolle.

Obwohl die „chemvisions“ (Beeman 1994) der Chemurgie-Bewegung niemals zur Realität wurden, waren sie aber doch, wie Sean Ferguson in seiner Arbeit zur amerikanischen Biokunststoffindustrie zeigt, institutionell einflussreich. Insbesondere die regionalen Forschungszentren des US-amerikanischen Landwirtschaftsministeriums sind Ausdruck dieser langfristigen Wirksamkeit chemurgischer Konzepte. Gegründet Ende der 1930er Jahre sind die Forschungszentren des Landwirtschaftsministeriums bis heute aktiv in der Entwicklung von chemischen Produkten aus pflanzlichen Rohstoffen. Fergusons Studie zeigt, dass in diesen Laboren und in anderen staatlich geförderten Forschungsinstituten biobasierte Technologien heranreiften, die ab den 1980er Jahren zur Grundlage der neu entstehenden amerikanischen Biokunststoffindustrie wurden (Ferguson 2012).

Der steigende Ölpreis in den 1970er Jahren bot Wissenschaftlern, die bereits zuvor an der industriellen Nutzung von Pflanzen forschten, und landwirtschaftlichen Interessenvertreter, die Gelegenheit, die alten chemurgischen Konzepte in Erinnerung zu rufen und für eine Revitalisierung der Chemurgie-Vision zu werben (Edminster 1976; Otey 1976; Pryde et al. 1976; Russel 1976; Weismantel 1975). Während biobasierte Herstellungsverfahren über einen langen Zeitraum nicht in ‚Marktrealitäten‘ (Otey 1976: 221) verwandelt werden konnten, wie es der Chemiker Felix Otey vom *Northern Regional Research Laboratory* in Peoria ausdrückte, erhofften sich Wissenschaftler und landwirtschaftliche Interessenvertreter mit dem Anstieg des Erdölpreises eine neue Chance, Agrar- und Chemieindustrie stärker miteinander zu verknüpfen und damit neue Absatzmöglichkeiten für die Landwirtschaft zu generieren.

Mit der Diagnose von Krisen versuchen Akteure häufig auch die eigene Vision für die Zukunft zu legitimieren (Graf und Jaraus 2017). Entsprechend ihrer Interessen forcierten Wissenschaftler an landwirtschaftlich ausgerichteten Forschungsinstituten in ihren Vorträgen und Publikationen die Prognose steigender Ölpreise und schwindender fossiler Ressourcen. Während man sich in der Kunststoffindustrie im Grunde darüber einig war, dass die Rohstoffkrise nicht auf eine physische Erdölknappheit, sondern auf politische Entscheidungen zurückzuführen war, behaupteten Forscher des *Agricultural Research Service* zum Beispiel

„how near to exhaustion are petroleum and even coal and shale oil reserves. Exhaustion of petroleum would accelerate consumption of coal and markedly reduce coal reserves, unless other sources of energy are developed. One might well ask about shifting part of the demand for chemical intermediates to renewable agricultural resources“ (Pryde et al. 1976: 2).

Auch andere Pflanzen- und Holzforscher betonten die baldige Endlichkeit fossiler Rohstoffe und brachten damit den Zukunftswert erneuerbarer Biomasse ins Gespräch:

„We are not talking about depletion when we talk about biomass as the answer to our feedstock problems. This material is stored solar energy on an annual renewable basis, and it is available to us, unlike either petroleum or coal. Depending on whom you talk with, these two will be depleted within 50 years, 100 years, or 200 years“ (Goldstein, zit. in: American Institute of Chemical Engineers 1977: 114).

Auf wissenschaftlichen Konferenzen diskutierten Pflanzen-, Holz- und Polymerforscher nun sowohl organische Abfälle, Holz und landwirtschaftliche Anbaupflanzen als neue Rohstoffgrundlage der Chemie- und Kunststoffindustrie (z.B. American Institute of Chemical Engineers 1977; Deanin 1974; Falkenhag 1974; Goldstein 1975; Otey 1976; Sarkanen 1976; Sinclair et al. 1974; St. Pierre und Brown 1978; Washington Center for Metropolitan Studies 1976). Irving Goldstein, Professor für Holz- und Papierwissenschaft an der *School of Forest Resources* in North Carolina, stellte beispielsweise in Aussicht, dass rein technisch betrachtet 95 Prozent aller Kunststoffe aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz hergestellt werden könnten (Goldstein 1975). Richard Sinclair und Edward Lipinsky, Chemiker am Auftragsforschungsinstitut *Battelle* in Columbus, gingen immerhin davon aus, dass realistischere Weise 10 Prozent der Nachfrage nach Erdöl in der Kunststoffindustrie durch Agrarrohstoffe ersetzt werden könnte (Sinclair et al. 1974). Später votierte Lipinsky, der ab 1975 auch für das *Fuels from Biomass*-Projekt der amerikanischen Regierung arbeitete, für ein umfassendes ‚adaptives‘ Biomasse-System. Dieses sollte als Schutz vor neuen Rohstoff- und Nahrungskrisen, die Produktion von Lebensmitteln, Bio-Kraftstoffen und Bio-Chemikalien miteinander integrieren und flexibel untereinander austauschbar machen (Lipinsky 1978: 650). In Antizipation zukünftiger Krisenlagen wurde die Investition in biobasierte Produktionsverfahren von Wissenschaftlern wie Lipinsky nun also als präventive Maßnahme propagiert, die die Unsicherheit zukünftiger Rohstoffversorgung bändigen könnte.

Biomasse als langfristige Option für die Zukunft

Die Tatsache, dass die Vision einer biobasierten Chemieindustrie Mitte der 1970er Jahren vor allem von Akteuren außerhalb der etablierten Kunststoffindustrie in den Diskurs eingebracht wurde, wirft die Frage auf, welche Rohstoffvisionen in der Chemie- und Kunststoffindustrie selbst herrschten.

Auf welche Resonanz stieß der Vorschlag, fossile durch pflanzliche Rohstoffe zu ersetzen? Artikel in Kunststofffachzeitschriften und Vorträge auf Industriekonferenzen zeigen, dass nachwachsende Rohstoffe durchaus in den Zukunftsüberlegungen der Industrie vorkamen, ihnen aber im Vergleich zu alternativen *fossilen* Rohstoffen wie Kohle, Schiefergas oder Teersand keine Priorität zugesprochen wurde. Da die Industrie aus einer rein ökonomischen Perspektive auf die Rohstoffzukunft blickte, drehte sich die Debatte primär um die Frage „which industry – petroleum or agricultural – will have the lower relative price and more stable and assured supply in the future“ (o.A. 1975a: 82).

Dabei gab es in der Kunststoffindustrie unterschiedliche Einschätzungen über die Notwendigkeit einer alternativen Rohstoffgrundlage. Einige Kommentatoren sahen selbst in langfristiger Perspektive keine Notwendigkeit für einen Rohstoffwandel. Sie gingen davon aus, dass mit der Entwicklung alternativer Energiequellen wie der Atomkraft, große Mengen an Erdöl freiwürden, um daraus über einen langen Zeitraum in der Zukunft Kunststoffe und andere petrochemische Produkte herzustellen (z.B. Gross 1973a: 43; Guillet 1974: 49; Prioleau 1974: 33). Andere fokussierten auf alternative *fossile* Rohstoffe, allen voran Kohle. Der technische Redakteur von *Modern Plastics* prognostizierte etwa, dass Kohle bis zum Ende des Jahrhunderts das Erdöl als primäre Rohstoffquelle der amerikanischen Kunststoffindustrie ablösen würde (Kline, zit. in: o.A. 1974a: 32). Diese Einschätzung gründete auf der Beobachtung, dass einige Chemieunternehmen in den 1970er Jahren neue Abteilungen einrichteten, die sich mit Kohletechnologien beschäftigten (ebd.).

Die Vision einer biobasierten Chemieindustrie galt im Gegensatz dazu eher als „controversial“ (Weismantel 1975: 78), da niemand genau sagen konnte, wann nachwachsende Rohstoffe ökonomisch wettbewerbsfähig werden würden oder ob überhaupt genügend landwirtschaftliche Fläche zur Verfügung stehen würde, um ausreichende Mengen an Kunststoffen und Chemikalien produzieren zu können. Im Gegensatz zu den „biomass people“ (Gillepsi, zit. in: American Institute of Chemical Engineers 1977: 118), die zwischen 7 und 15 Jahren für die Entwicklung einer biobasierten Chemieindustrie veranschlagten (Goldstein, zit. in: American Institute of Chemical Engineers 1977: 97), sahen viele Vertreter der Chemie- und Kunststoffindustrie Biomasse eher als ‚exotische‘ (Wishart 1978: 615) und in fernerer Zukunft liegende Rohstoffoption. Bis zum Ende der 1970er Jahre schien sich bei vielen der großen internationalen Chemiekonzerne das Zukunftsszenario eines kontinuierlichen und *langfristigen* Transitionsprozesses

herauszukristallisieren, an dessen Ende die Biomasse stand. Ronald Wishart, Direktor für Energiepolitik beim Chemie- und Kunststoffunternehmen *Union Carbide*, entfaltete dieses Zukunftsszenario in einem Artikel in der Zeitschrift *Science*. Nachdem in den 1980er und 1990er Jahren Kohle und andere fossile Rohstoffe das Erdöl zunehmend ersetzen würden, sah Wishart biobasierte Chemikalien ab der Jahrhundertwende an Relevanz gewinnen (ebd.).

Dass Wishart mit seiner Erwartung in der Industrie nicht alleine stand, verdeutlicht eine große internationale Konferenz zur Zukunft der Rohstoffe in der chemischen Industrie, die Mitte 1978 von der *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) abgehalten wurde (St. Pierre und Brown 1978). Hier entfalteten die Vertreter der großen internationalen Chemie- und Kunststoffhersteller, u. a. *Bayer*, *DuPont* oder *Exxon Chemicals*, ein im Grunde ähnliches Zukunftsszenario. Einerseits sah man die Notwendigkeit eines langfristigen Wandels hin zu einer „post-petroleum-economy“ (Shapiro, zit in: Krieger 1978: 28). Die erste Ölpreiskrise hatte anhaltende Zweifel und Unsicherheiten geschaffen, und deutlich gemacht, wie sehr die Rohstoffversorgung nicht nur von ökonomischen Faktoren, sondern von geopolitischen Entscheidungen abhing (Krieger 1978; Shapiro 1978). Andererseits waren sich die Industrievertreter darüber einig, dass mittelfristig genügend günstiges Erdöl vorhanden sein würde, um die Nachfrage nach petrochemischen Produkten zu befriedigen (o.A. 1978: 40).

In den Vorträgen der Industrievertreter dominierte daher das Szenario eines mehrstufigen Transitionsprozesses, der sich über die nächsten Jahrzehnte erstrecken und von rein ökonomischen Determinanten, also dem Verhältnis der Rohstoffpreise, geleitet werden würde. Herbert Grünewald, Vorstandsvorsitzender von *Bayer*, prognostizierte eine Hinwendung zur Kohle ab 1988, die zunehmende Nutzung von Schiefergas und Ölsand ab den 1990er Jahren und eine großflächige Kommerzialisierung von biobasierten Chemikalien ab dem Jahr 2000 (Krieger 1978: 28). Ähnlich sah das auch der Vertreter von *Exxon Chemicals*. Er prognostizierte, dass „organic chemicals production base will undergo a complete reversal of the historical progress – from petroleum back to coal and then to biomass“ (Mathis, zit. in: ebd.). Die Landwirtschaft werde allerdings erst im 21. oder sogar erst im 22. Jahrhundert zum notwendigen Rohstofflieferant für die chemische Industrie (o.A. 1978: 40).

Dennoch herrschte in der Industrie Ende der 1970er Jahre die Vorstellung, man müsse sich frühzeitig auf diese langfristige Zukunft vorbereiten. „For once“, so drückte es ein

Konferenzteilnehmer aus, „let’s have a world that thinks and is dealing with things ahead of time“ (Baker, zit. in: Krieger 1978: 28). Angesichts der Krisenanfälligkeit der Rohstoffversorgung gewann die langfristige Zukunft in der Industrie an Handlungsrelevanz in der Gegenwart. Trotz des ausgedehnten Zeithorizonts appellierten die Vortragenden daher an Industrie, Wissenschaft und Politik, langfristig angelegte Grundlagenforschung zu fördern, die erst in kommenden Generationen ökonomisch relevant würden. „It is clear“, forderte etwa *DuPont*-Vorsitzender Shapiro, „that the chemical industry should stop lamenting the decline of research and put more resources into it; not merely into projects promising to pay out in a decade or so, important as those are, but also into projects which will pay out after most of us are gone from the scene“ (Shapiro 1978: 289).

Einige Chemieunternehmen begannen bereits in den 1970er und 1980er Jahren damit, sich durch Forschungsprojekte auf den fernen Wechsel zu pflanzlichen Rohstoffen vorzubereiten. Wishart von *Union Carbide* etwa war sicher, „that biomass feedstocks will gradually expand in importance as the cost of petrochemical feedstocks grows. (...) We in Union Carbide are sufficiently impressed by the potential importance of biomass to dedicate a sizable research and development group to various fermentations and other biochemical conversions“ (Wishart 1978: 618). Je nachdem wieviel Expertise im Bereich der Fermentationstechnologie bereits vorhanden war, forschten Chemiekonzerne mit Fokus auf die Zukunft an der Herstellung biobasierter Chemikalien (o.A. 1984). Während der Umstieg auf nachwachsende Rohstoffe den Industrievertretern auf der einen Seite zwar wenig dringlich erschien, hatte die Investition in biobasierte Verfahren in Antizipation eines langfristigen Rohstoffwandels auf der anderen Seite an Legitimität gewonnen.

Zum Schluss soll nicht unerwähnt bleiben, dass auch technologische Fortschritte in der Biotechnologie die Aufmerksamkeit der Chemieindustrie auf nachwachsende Rohstoffe lenkten. Schon in den 1960er Jahren hatten Chemiekonzerne, zum Beispiel in Großbritannien, damit begonnen, hohe Summen in die biotechnologische Produktion von Einzellereiweiß zu investieren. Bakterien, die Erdöl in Protein umwandelten, galten zu dieser Zeit, als Erdöl im Überfluss vorhanden, proteinreiche Nahrungsmittel aber knapp waren, als hoffnungsvolle „Kandidaten für eine Lebensmittelrevolution“ (Bud 1995: 173). Die Erweiterung dieser ‚alten‘ Biotechnologie, also der Fermentation, durch die rekombinante DNA-Technik, die sogenannte ‚neue‘ Biotechnologie, seit Mitte der 1970er Jahre, trug dazu bei, dass biobasierte Herstellungsverfahren in der Industrie als zukunftsweisend wahrgenommen wurden. So wuchs mit den Ölpreiskrisen, dem Einbruch der

Wachstumsraten, und der zunehmenden ökologischen Kritik an ihren Produkten die Hoffnung in der Chemieindustrie, mit der Biotechnologie sowohl neue, von fossilen Rohstoffen unabhängige Wachstumspotentiale erschließen zu können, und gleichzeitig die zunehmende Nachfrage nach umweltfreundlicheren Produkten zu bedienen. Die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Veränderungen der 1970er Jahre ließen die Biotechnologie und damit auch nachwachsende Rohstoffen aus ihrem Nischendasein zunehmend in den Aufmerksamkeitsradius des industriellen Interesses rücken (Bud 1995: 183ff.; Cooper 2008; Marschall 2000: 12). Mit dem ökologischen Versprechen der Biotechnologie habe ich hier bereits einen Punkt angedeutet, der im nächsten Kapitel weiter ausgeführt werden soll.

4.2. Kunststoffe als Energieverschwender und ökotopische Kunststoffvisionen

An die Substitution von Erdöl durch pflanzliche Rohstoffe und die Einführung biotechnologischer Herstellungsverfahren knüpften sich in den 1970er Jahren nicht nur ökonomische Erwartungen, sondern auch ökologische Erwartungen. Ich verorte das Aufkommen des ökologischen Wertversprechens von Kunststoffen, die ohne Erdöl auskommen würden, im ökologischen Diskurs um die Rohstoffzukunft in den 1970er Jahren. Im Folgenden zeige ich erstens, dass sich die ökologische Kritik an Kunststoffen in den 1970er Jahre nicht nur auf das Abfallproblem bezog. Mit zunehmender Bedeutung der Ressourcenfrage wurden Kunststoffe zusätzlich als verschwenderischer Umgang mit begrenzten Ressourcen kritisiert. Diese Abwertung konventioneller Kunststoffe begreife ich als Bedingung dafür, dass Kunststoffe aus Pflanzen als umweltfreundlichere Alternative qualifiziert werden können, noch bevor die Erdölreserven tatsächlich aufgebraucht sind. Zweitens verbanden Vertreter des Umweltschutzes mit pflanzlichen Rohstoffen auch die Hoffnung, dass daraus hergestellte Produkte biologisch abbaubar sein würden, und daher mit dem Idealprinzip des natürlichen Kreislaufs in Einklang gebracht werden könnten.

Die Ressourcenfrage aus ökologischer Sicht

Im Vergleich zur Auseinandersetzung in der Chemieindustrie war die Auseinandersetzung um die Rohstoffzukunft aus ökologischer Perspektive nicht primär von ökonomischen Überlegungen bestimmt. Während die Industrie vor allem mit der Antizipation von Preisentwicklungen und Wettbewerbsverhältnissen zwischen unterschiedlichen Rohstoffquellen und der Abschätzung technologischer Potentiale beschäftigt war, wurde der Ressourcenverbrauch aus ökologischer Perspektive nicht als isoliertes ökonomisches Problem betrachtet, sondern ins Verhältnis zum

gesamten Produktionssystem industrieller Gesellschaften gestellt. Im Gegensatz zur Industrie, die im Grunde eine relativ unproblematische Ersetzung des Erdöls durch andere fossile und pflanzliche Rohstoffe imaginierte, war die ökologische Perspektive auf die Rohstoffzukunft geprägt vom „ökologischen Grenzdiskurs“, und damit von einem „Denken in komplexen Systemen“ (Graf 2012: 88) in globaler und zeitlicher Ausdehnung. Obwohl der ökologische Diskurs um die natürlichen Grenzen des industriellen Wachstums nicht allein auf den viel diskutierten Bericht des *Club of Rome* zu den zurückzuführen ist, stellt er hierfür doch das öffentlichkeitswirksamste Beispiel dar.

Mithilfe des Computermodells des MIT-Informatikers Jay Forrester waren die Wissenschaftler des *Club of Rome* um Dennis und Donella Meadows zum Schluss gekommen, dass die komplexen und fatalen Interdependenzen des ungehinderten Ressourcenverbrauchs, des Bevölkerungswachstums, der Industrialisierung und der Umweltverschmutzung letztlich zu einem Kollaps des bestehenden industriellen Systems führen würden (Meadows et al. 1972: 135). Der zukünftige Verbrauch von natürlichen Ressourcen war hier nicht nur eine Frage von Preisverhältnissen, sondern stand in unmittelbarer Beziehung zur Überlebensfähigkeit moderner Gesellschaften als Ganze. Dabei fiel das Katastrophenszenario des *Club of Rome* in eine Zeit als apokalyptische Zukunftsprognosen ohnehin die öffentliche Auseinandersetzung über die Rohstoffzukunft prägten, und die Vordenker der heterodoxen ökologischen Ökonomik wie Kenneth Boulding, Nicolas Georgescu-Roegen oder Herman Daly ebenfalls die Vorstellung von der Endlichkeit fossiler Rohstoffe befeuerten (Graf 2014: 378ff.).

Im Gegensatz zur klassischen Wirtschaftswissenschaft analysierten Boulding, Georgescu-Roegen und Daly ökonomische Prozesse in ihrer fundamentalen Abhängigkeit von natürlichen Prozessen. Ihren ökonomischen Theorien lag die Vorstellung der Erde als eines geschlossenen, thermodynamischen Systems mit natürlichen Grenzen für die Ressourcenentnahme sowie für die Einbringung von Abfällen und Schadstoffen zu Grunde. Kenneth Boulding forderte beispielsweise schon in den 1960er Jahren einen Wandel von der sogenannten „cowboy economy“ zu einer „spaceman economy“ (Boulding 1966). Während er mit der „cowboy economy“ ein offenes System beschrieb, in der die natürliche Umwelt als grenzenloser Raum wahrgenommen wird, den es für ökonomischen Profit zu erobern und auszubeuten gilt, definierte Boulding die anzustrebende „spaceman economy“ als geschlossenes System, in dem der Mensch Teil eines ökologischen Kreislaufsystems mit einer kontinuierlichen Reproduktion von Materialien wäre.

Der Schumpeter-Schüler und Vordenker der heutigen De-Growth-Bewegung Nicolas Georgescu-Roegen formulierte eine umfassende ökonomische Theorie in den Grenzen der Biosphäre. Er nannte seinen Ansatz ‚bioökonomisch‘ „to make us bear in mind continuously the biological origin of the economic process and thus spotlight the problem of mankind’s existence with a limited store of accessible resources“ (Georgescu-Roegen 1977: 361). Angesichts der begrenzten fossilen Rohstoffreserven stellte die Förderung biobasierter Produktionsprozesse für Georgescu-Roegen eine vernünftigeren Zukunftsstrategie dar als weiterhin Erdöl und Kohle aufzubrechen. Auf das Bestreben der Chemieindustrie, aus Erdöl proteinreiche Nahrungsmittel herzustellen, antwortete er entsprechend: „Sane reason tells us to move in the opposite direction, to convert vegetable stuff into hydrocarbon fuel“ (Georgescu-Roegen 1975: 371). Sein ‚bioökonomisches Minimalprogramm‘ beinhaltete allerdings wesentlich tiefgreifendere Schritte zur Einschränkung von Ressourcenverschwendung und ökonomischem Wachstum, etwa den Verzicht auf Mode und ‚extravagante‘ Konsumgüter (ebd.: 377ff.). Zwar hatte dieser ökologische Grenzdiskurs kaum Einfluss auf den Mainstream der Wirtschaftswissenschaft oder auf die offizielle Politik westlicher Industrieländer, dennoch verschärfte er in der Umweltbewegung und der ökologisch sensibilisierten Bevölkerung die Vorstellung, dass dem auf Erdöl gründenden ökonomischen Wachstum Grenzen gesetzt seien (Graf 2014: 379). Die Umweltbewegung stellte, wie der Historiker Rüdiger Graf schreibt, die einst geltende „Gleichung, dass ein Mehr an Energie auch zugleich ein Mehr an Lebensqualität bedeute, zunehmend in Frage“ (Graf 2012: 89).

Kunststoffe als Energieverschwender

Vor dem Hintergrund des ökologischen Grenzdiskurses und den Erfahrungen der ersten Ölpreiskrise erschien auch das Verhältnis zwischen Kunststoffen und Umwelt nochmals in einem anderen Licht als zum Ende der 1960er Jahre. Wurden Kunststoffe am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren vor allem als Abfallproblem kritisiert (siehe Kap. 3), weitete sich die ökologische Kunststoffkritik mit dem Virulentwerden der Rohstoffproblematik weiter aus. Jetzt stand nicht mehr nur ihr ‚Lebensende‘ als unvergänglicher Müll der Konsumgesellschaft im Fokus der Kritik, sondern ebenfalls ihr ‚Lebensanfang‘ als Verschwendung begrenzter Ressourcen. Die ‚Energiekrise‘ nahmen Umweltaktivisten abermals zum Anlass, petrochemische Kunststoffe als Element eines nicht zukunftsfähigen Produktionssystems zu verdammen. Die Ausweitung der Kunststoffkritik nach der ersten Ölpreiskrise lässt sich z. B. an der Entwicklung der Publikationen von Barry Commoner exemplarisch nachvollziehen. Während Commoner, dem einflussreichsten

Sprecher der ‚Anti-Kunststoffbewegung‘ in den 1970er Jahren (o.A. 1976a: 43), in seinem ersten Bestseller *The Closing Circle* (Commoner [1971] 1973) noch den Fokus auf das ökologische Problem der Umweltverschmutzung durch Kunststoffe gelegt hatte, stellte er die synthetischen Stoffe in seinem folgenden Buch *The Poverty Power* (Commoner 1976b) in den Schnittpunkt von Umweltverschmutzung, verschwenderischem Ressourcenverbrauch und wirtschaftlichem Niedergang.

So war für Commoner Energie der ‚rote Faden‘, der das Ökosystem mit der industriellen Produktion und dem ökonomischen System verband (Egan 2007: 153). Die ‚Energiekrise‘ hatte Commoners Denken auf die Frage fokussiert, ob Energie im gegenwärtigen industriellen System effizient genutzt oder vielmehr verschwendet würde. Dabei kam der Biologe zum Schluss, dass im aktuellen Produktionssystem die meisten Aufgaben relativ schlecht mit den dafür notwendigen Energiequellen gekoppelt seien und daher 85 Prozent der fossilen Energieträger verschwendet würden. Dabei waren Kunststoffe und andere Produkte der petrochemischen Industrie für Commoner geradezu der Inbegriff einer ineffizienten Nutzung begrenzter Erdölressourcen (Commoner 1976b: 216, 221). Bei einem öffentlichen Vortrag kurz vor der Veröffentlichung seines Buches brachte er seine Kritik an Kunststoffen als Energieverschwender auf den Punkt:

„Let’s talk about another human need, and I’m going to focus on that purse down there, that handbag. Now there are two ways of making a handbag, generally, you can make it out of leather, or you can make it out of plastic. (...) If you ask how many handbags you can produce out of a unit of energy, you’ll find out you can produce about five or ten times as many handbags out of leather per unit of energy as you can plastic. It takes much more plastic, much more energy to make plastic than leather. The reason is that plastics are made of petroleum, and various kinds of chemical reactions have to be carried out. (...) It turns out that you also use about three or four times as much capital, because the petrochemical plants are very big, with an awful lot of machinery and capital in it. So, producing a plastic bag is wasteful of energy, wasteful of capital, but it uses much less labor. (...) So that’s been going on, and this is typical of what’s been happening in the country, is that energy is being used to drive the machines that displace labor. The result is that we’re heading towards a shortage of energy, a shortage of capital, and an excess of labor, or a shortage of jobs. So that if we were to really save energy, we could create jobs, for example, by cutting back on the petrochemical industry“ (Commoner 1976a).

Kunststoffe wurden jetzt also nicht mehr nur primär auf ihre Entsorgungsqualitäten hin bewertet, sondern vor allem mit dem Verbrauch von Energie in Bezug gesetzt. Dabei macht Commoners Zitat auch deutlich, dass seine Kunststoffkritik verflochten war mit einer viel grundsätzlicheren Kapitalismuskritik. Commoner ging davon aus, dass Kunststoffe große Mengen an fossilen Ressourcen konsumieren, im Gegenzug aber nur wenig ‚sozialen Wert‘, z. B. in Form von

Arbeitsplätzen, produzieren würden (Commoner 1976b: 202). Da petrochemische Produktionsprozesse kaum menschliche Arbeitskraft verlangen, schrieb Commoner den Kunststoffen nicht nur eine Mitverantwortung bei der ‚Energiekrise‘ zu, sondern sah in ihnen auch eine Ursache für die wachsende Arbeitslosigkeit in den USA. Commoner machte petrochemische Produkte mitverantwortlich für die drei großen Krisen der 1970er Jahre – die Umweltkrise, die Energiekrise und die Wirtschaftskrise. Damit beschrieb er Kunststoffe abermals als Teil eines defekten Wirtschaftssystems, das nicht die sozialen und ökologischen Bedürfnisse des Menschen und des Planeten im Blick habe, sondern lediglich nach Profitinteressen operiere.

Commoners Bewertung von Kunststoffen als Energieverschwender gründete dabei vor allem in seiner Annahme, dass synthetische Stoffe im Vergleich zu ‚natürlichen‘ Materialien keinen *zusätzlichen* Nutzen schaffen würden. Während Kunststoffhersteller immer wieder die besonderen und einzigartigen Qualitäten der Kunststoffe – ihre Formbarkeit und Beständigkeit – hervorhoben, revitalisierte Commoner den alten Ersatzdiskurs (siehe Kap. 3.1.1.), wenn er Kunststoff lediglich als unnütze ‚Substitute‘ für ältere Materialien beschrieb. Kunststoffe gaben aus Commoners Perspektive keine Antwort auf bislang ungelöste Probleme, sondern wurden den Konsumenten im Grunde von einer imperialistischen Industrie aufgezwungen (ebd.: 202ff.). Aufgrund ihres niedrigen ‚sozialen Werts‘ hielt Commoner den Energiekonsum der Kunststoffherstellung bis auf wenige Ausnahmen für nicht gerechtfertigt. Zwar verlangte der Ökologe kein vollständiges Kunststoffverbot, dennoch prognostizierte er, dass die Einschränkung der Kunststoffproduktion nicht nur zu einer Senkung von Umweltverschmutzung führen, sondern gleichzeitig Energie und Kapital sparen und die Zahl der Arbeitsplätze erhöhen würde. Mit dem Abbau der petrochemischen Industrie, das suggerierte jedenfalls Commoners Kunststoffkritik, würde die moderne Gesellschaft einen Schritt in eine ökologischere und sozialere Zukunft gehen (ebd.: 208f.).

Die ökologische Kritik an Kunststoffen als Energieverschwender wurde in der Kunststoffindustrie als neues Problem für das Ansehen ihrer Produkte wahrgenommen. Kunststoffprodukte galten in der Öffentlichkeit schon aufgrund ihrer Resistenz gegenüber natürlichen Abbauprozessen als ökologisch problematisch. Mit der zusätzlichen Problematik der Rohstoffversorgung kam jetzt ein weiterer Aspekt hinzu, der das Verhältnis von Umwelt und Kunststoffen in einem negativen Licht erscheinen ließ und Konsumenten dazu brachte, Kunststoffprodukte abzulehnen: „Housewives are now rejecting plastic bags at the supermarkets, convinced by so doing that they are saving energy

and conserving nonrenewable resources“ (Guillet 1974: 49), beklagte sich zum Beispiel der Polymerforscher James Guillet über das Verhalten der Verbraucher im Kontext der Ölpreiskrise.

Auf die Ausweitung der ökologischen Kritik an Kunststoffen als Energieverschwender reagierte die Kunststoffindustrie vor allem mit Aufklärungskampagnen, die Kunststoffe als *Energiesparer* auswiesen. Eine Broschüre des US-amerikanischen Kunststoffverbands zeigte beispielsweise auf, dass „the manufacture and use of plastics has the potential of ‘producing’ more energy than was required to make the 17 million tons of plastics that were produced in the U.S. last year“ (o.A. 1979a: 27). Vor allem die Nutzung leichter Kunststoffe als Bauelemente in Kraftfahrzeugen anstelle von schweren Metallteilen könne, so die Industrie, enorme Mengen an Benzin einsparen und damit zur Konservierung fossiler Energie beitragen (ebd.).

Obgleich unabhängige Studien bestätigten, dass die Nutzung von Kunststoffen tatsächlich auch zur Einsparung von fossilen Rohstoffen beiträgt, schien die öffentliche Wahrnehmung von Kunststoffen als Energieverschwender äußerst beständig. Das wird z. B. an einem Artikel in *Modern Plastics International* aus dem Jahr 1979 deutlich, in dem sich der Autor darüber beschwert, dass die Aufklärungskampagnen nicht den gewünschten Effekt hätten: „Obviously, the message isn’t getting through“ stellte ein Autor der Fachzeitschrift fest, und spekulierte „that’s because the real story of plastics as energy conservers hasn’t been told with sufficient force – or sufficient drama to make a memorable impact“ (ebd.). Der Anlass dieser Feststellung war ein weiterer Zeitungsartikel, der die Produktion von Kunststoffen für die neuerliche ‚Energiekrise‘ mitverantwortlich machte. In dem Zeitungsartikel beschrieb der Autor, wie die Kunststoffindustrie einen ‚Ozean‘ an Erdöl verschlingen würde, um ‚Millionen von Einwegmesser, -gabeln, -teller und eine Menge anderer Produkte‘ herzustellen, die letztlich nur ‚unsere Straßen und Parks vermüllen würden‘ (Meikle 1995: 271).

Gerade dieser letzte Teil des Satzes macht deutlich, dass die ökologische Kritik an Kunststoffen als Energieverschwender nicht nur den tatsächlichen Erdölkonsum der Kunststoffindustrie berücksichtige, der im Vergleich zur Herstellung von Kraftstoffen oder Wärmeenergie im Grunde relativ klein ist. Vielmehr war die Kritik auch der spezifischen *Verwendung* von Kunststoffen zur Herstellung von Einwegprodukten und Verpackungen geschuldet. Während die Kunststoffindustrie in Wirklichkeit nur sehr geringe Mengen an Erdöl benötigt, wurden Kunststoffe in der Öffentlichkeit mit den als *überflüssig* wahrgenommenen Produkten der

modernen Konsumgesellschaft assoziiert. Der Zeitungsartikel bringt zum Ausdruck, dass die stoffliche Nutzung von Erdöl für die Herstellung von Wegwerfprodukte als weniger legitim wahrgenommen wurde als die energetische Nutzung von Erdöl. In diesem Sinne ist die Aussage des Autors zu verstehen, dass er ‚jederzeit einen Kunststoffbecher gegen eine Gallone Benzin eintauschen würde‘ (ebd.). Vor dem Hintergrund ressourcenpessimistischer Zukunftsvorstellungen büßte die Verwendung von Erdöl für die Wegwerfprodukte aus Kunststoff an Legitimität ein.

Kunststoffe aus Pflanzen in Ökotoptien

Die ökologische Kritik an petrochemischen Kunststoffen als Energieverschwender stellt gewissermaßen die diskursive Möglichkeitsbedingung für die Aufwertung von Kunststoffen aus Pflanzen dar. Gleichzeitig trugen aber auch positive Zukunftsszenarien im ökologischen Diskurs selbst dazu bei, dass Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen als Hoffnung auf eine umweltfreundlichere Kunststoffindustrie gesehen wurden. Zwar gab es aus ökologischer Perspektive von Beginn an auch Kritik an der industriellen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Während Umweltschutzorganisationen die Verwertung pflanzlicher Abfälle noch als positive Entwicklung in die richtige Richtung bewerteten, wurde der gezielte Anbau von ‚Energiepflanzen‘ aufgrund ihrer Auswirkung auf die Landnutzung und die Konkurrenz mit Lebensmitteln von Beginn an auch kritisch gesehen (Kimball 1976). Diese Kritik an der industriellen Nutzung pflanzlicher Rohstoffe wird im zweiten Teil der Arbeit eine größere Rolle spielen. Hier will ich allerdings den Fokus auf die optimistische Vorstellung legen, die die Produktion von Energie und Materialien aus pflanzlichen Rohstoffen als „way to long-range global solutions based on biological techniques compatible with the ecological health of the planet“ (Dubos 1976: 461) imaginierten, wie es der französische Mikrobiologe und Umweltaktivist René Dubos in einem Artikel in *Science* formulierte. In dieser ökologischen Erwartung gründet das Wertversprechen biobasierter Kunststoffe.

Aus ökologischer Perspektive wurden biobasierte Kunststoffe allerdings nicht nur aufgrund ihres Einsparungspotentials fossiler Energie als ökologische Verbesserung erhofft. Vielmehr verschränkten sich in den ökologischen Erwartungen beide zentralen Eigenschaften heutiger Biokunststoffe – Biobasiertheit *und* biologische Abbaubarkeit. Die Erwartung, dass Produkte aus pflanzlichen Rohstoffen gleichzeitig auch (besser) abbaubar sein würden, wurde von Chemikern propagiert, die in den 1970er Jahren Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen entwickelten. Sie

versprochen nicht nur die Einsparung begrenzter Ressourcen, sondern zudem einen Beitrag zur Lösung des Abfallproblems (Otey 1976; Yuen 1974).

Ökologische Erwartungen an biobasierte Kunststoffe wurden in den 1970er Jahren sowohl in faktualen Berichten als auch in fiktionalen Erzählungen geprägt. Ein Beispiel für faktenbasierte Erwartungen findet sich etwa in der Zeitschrift *Environment* (Crossland 1974). Im Anschluss an die erste Ölpreiskrise diskutierte der Artikel *Ferment in Technology* von Janice Crossland die ökologischen Vorteile, die die Fermentationstechnologie schon heute bieten könnte und präsentierte einige potentielle Anwendungsbereiche und aktuelle Forschungsprojekte, u. a. zu biologisch abbaubaren Kunststoffen aus den nachwachsenden Rohstoffen Stärke, Zucker und Pflanzenölen, die jetzt an Forschungszentren in den USA, Japan und Europa durchgeführt wurden (ebd.: 28). Insbesondere die Forschungsarbeiten der regionalen Forschungszentren des amerikanischen Landwirtschaftsministeriums wurden hier positiv hervorgehoben. Dabei stellte die Fermentation für Crossland zwar kein Allheilmittel dar, aber eine in der Realität der Gegenwart gründende, ‚vernünftige‘ Technologie, um den Energieverbrauch und die Umweltverschmutzung durch petrochemische Produkte zumindest teilweise zu reduzieren:

„The fermentation industry and other technologies based on the use of renewable resources could thus provide a pollution-reducing and energy-saving alternative to petroleum use. Like other presently available alternatives to petroleum, such as direct use of solar power for heating and cooling, or geothermal energy, fermentation technology would not be a panacea. An expansion of the fermentation industry is a sensible way to at least partially reduce our ever-increasing dependence on petroleum, reduce growing waste disposal problems, and perhaps to help solve world food shortages at the same time“ (ebd.: 17).

Neben solchen realweltlichen Zukunftsvorstellungen wurden biobasierte Kunststoffe in den 1970er Jahren allerdings auch zum Gegenstand populärer fiktionaler Öko-Utopien. Im Gegensatz zu faktenbasierten Erzählungen wurden biobasierte Kunststoffe hier nicht nur als realistischer Ersatz für petrochemische Kunststoffe vorgestellt, sondern als Element einer alternativen Gesellschaftsordnung imaginiert. Das bekannteste Beispiel für eine ökologische Kunststoffutopie findet sich im Roman *Ecotopia* von Ernest Callenbach, der 1975 veröffentlicht, in neun Sprachen übersetzt, und mit Verkaufszahlen im Millionenbereich zu einer einflussreichen Inspirationsquelle der internationalen Umweltbewegung wurde (Tschachler 1984: 345). Obwohl Callenbach beim Schreiben des Buchs von realweltlichen Forschungsprojekten inspiriert war, ist seine Kunststoffutopie weniger eine Beschreibung der tatsächlichen technologischen Möglichkeiten, wie

sie sich in den 1970er Jahren darstellten, sondern vielmehr die Idealvorstellung einer ökologischen Kunststoffwirtschaft (Callenbach [1975] 2009).

In *Ecotopia* erzählt Callenbach die Geschichte eines kleinen Landes in der Zukunft, in dem sich das Leben nach ökologischen Prinzipien gestaltet. Die Handlung des Romans verwebt die Darstellung umweltschonender Technologien mit Handlungssträngen über neue Formen des Zusammenlebens, Geschlechterverhältnisse, Pädagogik oder das Gesundheitswesen. Biobasierte Kunststoffe stehen hier im Kontext einer zukünftigen Gesellschaftsordnung, die in Abgrenzung zum Lebensstil der Gegenwartsgesellschaft, ohne technikfeindlich zu sein, dennoch im Einklang mit der Natur und den menschlichen Bedürfnissen lebt. Das Grundprinzip aller Technologien im Roman ist auch hier die Abkehr von einer linearen Produktionsweise hin zu einer Schließung von natürlichen Kreisläufen. In Ökotopten ist die Biologie die alles bestimmende „kulturelle Metapher“ (Tschachler 1984: 340f.).

Dem biologischen Primat entsprechend werden Kunststoffe in *Ecotopia* nicht aus fossilen Rohstoffen hergestellt, sondern sind „entirely derived from living biological sources (plants)“ (Callenbach [1975] 2009: 83). Dabei müssen die Ökotoptier jedoch nicht auf jene Qualitäten verzichten, die Kunststoffe im 20. Jahrhundert so erfolgreich gemacht haben. Den fiktiven ökotopischen Wissenschaftlern war es gelungen, Kunststoffe günstig und in allen möglichen Variationen zu produzieren und gleichzeitig biobasierte, umweltschonende Herstellungsverfahren zu entwickeln. Außerdem sind die Kunststoffe in Ökotopten biologisch abbaubar und werden in sogenannten „biovats“ (ebd.: 85), mit Erde und Bakterien gefüllte Röhren, zu Pflanzendünger umgewandelt. So schließen Kunststoffe in Callenbachs Utopie den endlosen Kreislauf der Natur.

Callenbachs ökotopische Vision zeigt, dass die Vorstellung ‚grüner‘ Kunststoffe in den 1970er Jahren beide Eigenschaften heutiger Biokunststoffe umfasste. Um Kunststoffe ‚grün‘ zu machen, sollten sie sowohl biologisch abbaubar als auch biobasiert sein. Was Callenbachs Kunststoffutopie aber letztlich ausmacht, ist die Tatsache, dass biobasierte Kunststoffe hier nicht, wie in der Industrie, einfach als Fortführung der Kunststoffherstellung mit anderen Mitteln vorgestellt wurden. Während die landwirtschaftlichen Interessenvertreter und die Chemie- und Kunststoffindustrie im Prinzip nur den Austausch von Rohstoffquellen im Blick hatten, verbanden sich in Callenbachs Utopie technologische und sozio-ökonomische Visionen. So imaginierte Callenbach biobasierte, biologisch abbaubare Kunststoffe als Teil einer alternativen

Wirtschaftsform, die nicht mehr nach dem Wachstumsparadigma operieren, sondern sich lediglich immer wieder selbst reproduzieren würde. Kunststoffe werden in Ökotoptien „returned to the fields as fertilizer, which would nourish new crops, which in turn could be made into new plastics – and so on indefinitely, in what the Ecotopians call, with almost religious fervor, a ‘stable-state system’“ (ebd.: 83). Hier klingen im fiktiven Roman die realweltlichen Ideen des Ökonomen Herman Daly an, der ähnlich wie seine heterodoxen Kollegen Boulding und Georgescu-Roegen mit seinem Konzept der „Steady-State-Economy“ (Daly 1973) Kritik am Wachstumsparadigma der klassischen Wirtschaftswissenschaften übte. Daran wird deutlich, dass ökologische Erwartungen an Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, zumindest im Fall von Callenbachs Roman, mit ganz anderen Hoffnungen und Zielen verknüpft waren als die ökonomischen Erwartungen von landwirtschaftlichen Interessenvertretern oder Chemieindustrie. Während es den einen um den Ausbau von landwirtschaftlichen Märkten bzw. um den Zugang zu günstigen Rohstoffen ging, gewannen biobasierte Kunststoffe ihren Wert für ökologische Vordenker wie Callenbach aus der Hoffnung auf eine mit ökologischen Prinzipien kompatiblen, alternativen Wirtschaftsordnung.

4.3. Die Vision einer europäischen ‚Biogesellschaft‘

Zu den treibenden Kräften von Innovationsprozessen gehören neben Produzenten und sozialen Bewegungen häufig auch staatliche Institutionen. In der Wirtschaftssoziologie hat vor allem Neil Fligstein auf die konstitutive Rolle des Staates bei der Schaffung und Strukturierung von neuen Märkten hingewiesen (Fligstein 2001). Insbesondere moderne Produktionsmärkte sind auf öffentliche Investitionen in physische, institutionelle und soziale Infrastrukturen angewiesen (ebd.: 11). In Innovationsprozessen übernehmen staatliche Institutionen im Rahmen ihrer Forschungs- und Technologiepolitik eine aktive Rolle bei der Definition von Innovationsstrategien, bei der finanziellen Förderung von Forschung und Entwicklung und bei der Schaffung formeller Regeln, die die Einführung von Innovationen begünstigen. Dabei gründet auch die Ausrichtung von Technologiepolitik auf bestimmten institutionell stabilisierten und öffentlich kommunizierten soziotechnischen Zukunftsvisionen (Jasanoff und Kim 2009; 2015). Der Innovationsprozess von Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen bildet hier keine Ausnahme. Es stellt sich daher die Frage, welche technologiepolitischen Erwartungen sich an die Nutzung nachwachsender Rohstoffe knüpfen.

Während der Fokus in den letzten beiden Kapiteln primär auf Veröffentlichungen aus dem US-amerikanischen Raum in den 1970er Jahren lag, nimmt dieses Kapitel einen Perspektivenwechsel

in geografischer und zeitlicher Hinsicht vor. Der Blick wandert über den Atlantik nach Europa zu Beginn der 1980er Jahre. Zwar wurde die Idee biobasierter Kunststoffe zunächst vor allem von amerikanischen Wissenschaftlern und landwirtschaftlichen Interessenvertretern revitalisiert und später – mit dem Ziel, neue Absatzwege für die Landwirtschaft zu erschließen und ökonomisches Wachstum durch Biotechnologie zu generieren, – von Bundes- und Landesregierungen in den USA unterstützt (Ferguson 2012). Anfang der 1980er Jahre rückte die Vision einer biobasierten Chemieindustrie allerdings auch in den Fokus europäischer Agrar- und Technologiepolitik. Während Ferguson die politisch-institutionelle Einbettung der Biokunststoffindustrie in den USA aufgearbeitet hat, lege ich hier also den Fokus auf Europa als geographische Region, und spezieller noch auf die Rolle der Europäischen Kommission bei der Erwartungsbildung um biobasierte Herstellungsverfahren in den 1980er Jahren.

Damit will ich auch einen Beitrag zum Verständnis historischer Vorläufer der heutigen europäischen Technologiepolitik leisten. Heute zählt die *Europäische Kommission* zu den wichtigsten Treibern der Umstellung von einer fossilen Wirtschaft auf eine „Bioökonomie“ (Europäische Kommission 2012). In dieser von der EU anvisierten Bioökonomie soll die industrielle Biotechnologie zum Einsatz kommen und Kraftstoffe, Chemikalien und Materialien aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt werden. Neben einer Reihe von Nationalstaaten – von den USA über Deutschland, Italien, Frankreich, Norwegen und Finnland bis zu Thailand und Südafrika – verfolgt die *Europäische Kommission* seit 2012 eine offizielle Bioökonomie-Strategie, die sich in den europäischen Forschungsförderungsprogrammen niederschlägt. Allein Horizon 2020, das aktuellste Förderprogramm der EU, stellt zwischen 2014 und 2020 4,5 Milliarden Euro für bioökonomische Forschungsprojekte bereit (Europäische Kommission 2017b: 47). In diesem Rahmen fördert die europäische Gemeinschaft aktuell auch die Entwicklung von Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen mit der Erwartung, dass sich bis 2020 mindestens ein Viertel der globalen Biokunststoffproduktion in Europa befindet (Europäische Kommission 2017a). Laut Europäischer Kommission soll die Bioökonomie die Möglichkeit schaffen, ökonomisches Wachstum und europäische Wettbewerbsfähigkeit mit Ressourcen- und Klimaschutz zu vereinbaren (Europäische Kommission 2012: 9).

Obwohl die Umstellung auf eine Bioökonomie sich erst seit den 2000er Jahren zu einer offiziellen Politikstrategie der Europäischen Union entwickelte, schließt sie an Forschungsförderungsprogramme an, die bereits seit den 1980er Jahren die Nutzung von pflanzlichen Rohstoffen zur

Herstellung von Kraftstoffen, Strom, Chemikalien, Schmier- und Kunststoffen vorantreiben sollten (Coombs 2007: 5). Ich argumentiere im Folgenden, dass sich technologiepolitischen Erwartungen an nachwachsende Rohstoffe und Biotechnologie bis in die frühen 1980er Jahre zurückverfolgen lassen, als Europa einerseits mit den Auswirkungen der Wachstumskrise des vorangegangenen Jahrzehnts und andererseits mit zunehmender landwirtschaftlicher Überproduktion kämpfte. In diesem historischen Kontext formierte sich die soziotechnische Vision einer zukünftigen europäischen „Biogesellschaft“. Da die Vision der europäischen Biogesellschaft wesentlich im Rahmen des ersten europäischen technologiepolitischen Foresight-Programms, *FAST*, entstand, stehen die Veröffentlichungen der *FAST*-Gruppe im Zentrum des folgenden Kapitels. Ziel des Kapitels ist es, die technologiepolitischen Erwartungen an die industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe in den 1980er Jahren herauszuarbeiten.

FAST und die Vision einer europäischen ‚Biogesellschaft‘

In den 1970er und 1980er Jahren entwickelte sich die Biotechnologie – und damit die industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe – in vielen Industrienationen zum Gegenstand staatlicher Förderpolitik (Bud 1995: 183). Das lag nicht zuletzt daran, dass die Krisenerfahrungen der 1970er Jahren nicht nur in der Industrie oder unter Umweltschützern, sondern auch auf politischer Ebene zu einer neuen Auseinandersetzung mit der Zukunft geführt hatten. Langfristig orientierte Zukunftsforschung war im krisengeprägten Jahrzehnt der 1970er Jahre zu einem neuen Modus politischer Steuerung aufgestiegen (Liverani 2011: 57). Mit Hilfe der Exploration zukünftiger ökonomischer, kultureller und insbesondere technologischer Veränderungen wollten politische Entscheidungsträger die nun als unsicher wahrgenommene Zukunft langfristig politisch beherrsch- und gestaltbar machen.

Für Europa im Speziellen sollte die Exploration möglicher technologischer Zukünfte auch zur Findung neuer Ideen für das europäische Integrationsprojekt beitragen, das durch die ökonomische Krise der 1970er Jahre geschwächt worden war. Während Nationalstaaten ihre Identität auf einer gemeinsamen Geschichte und geteilten Traditionen aufbauen konnten, regten Zukunftsforscher die Kommission dazu an, in die Zukunft zu schauen, um die europäische Integration voranzutreiben (Kramer 1987: VI). Vor allem Wissenschafts- und Technologiepolitik entwickelte sich dabei zu einem neuen Integrationsmechanismus. In einer Zeit als europäische Regierungen mit wirtschaftlicher Stagnation, wachsender Inflation, Arbeitslosigkeit und zunehmender Skepsis

gegenüber dem europäischen Integrationsprojekt konfrontiert waren, wuchs die Hoffnung, dass mit der politischen Förderung von Wissenschaft und Technik ökonomisches Wachstum erneuert und so ein Weg zu neuem Wohlstand gefunden werden könnte (Liverani 2011: 53f.).

Auf Initiative des Soziologen und EG-Kommissars Ralf Dahrendorf hatte die Kommission Ende der siebziger Jahre erstmals ein Programm zur technologischen Zukunftsforschung auf europäischer Ebene institutionalisiert. Das Programm ‚Forecasting and Assessment of Science and Technology‘ (FAST) bestand aus einer kleinen Gruppe von Sozial- und Naturwissenschaftlern, die sich unter der Leitung des italienischen Sozialforschers Riccardo Petrella mit der Frage beschäftigten: „Kann Europa auf Wissenschaft und Technik eine bessere Zukunft für seine Gesellschaften bauen?“ Und „[w]enn ja, wie?“ (Kramer 1987: VII). FAST sollte den europäischen Entscheidungsträgern dabei helfen, förderungsrelevante Technologiefelder zu identifizieren.

Dabei hatten sich zu dieser Zeit bereits zwei vielversprechende Technologiefelder herauskristallisiert, die von der *FAST*-Gruppe genauer untersucht wurden. Während die Zukunftsforscher den Aufstieg einer neuen „Informationsgesellschaft“ und die Computerisierung der Gesellschaft für die nächsten zwanzig Jahre vorhersagten, prognostizierten sie für die nächsten dreißig Jahre die Entstehung einer europäischen „Biogesellschaft“, die auf dem Fortschritt in der Biotechnologie gründen würde (FAST [1984] 1987). Hauptverantwortlich für *FASTs* Vision der Biogesellschaft waren die beiden britischen Forscher Mark Cantley, ein Mathematiker und Systemforscher des *Internationalen Instituts für Systemanalyse* (IIASA) in Wien, und der Chemiker Ken Seargent, der für das *Microbiological Research Establishment* der britischen Regierung in Porton Down tätig war.

Beide Forscher arbeiteten für ihren *FAST*-Bericht eng mit der neu gegründeten *European Federation of Biotechnology* (EFB) zusammen. Die *EFB* war 1978 aus einem Zusammenschluss deutscher, französischer und britischer Interessensverbände der Chemieindustrie hervorgegangen, die sich gemeinsam mit Universitäten, wissenschaftlichen Instituten und einzelnen europäischen Wissenschaftlern für die Förderung der Biotechnologie in Europa einsetzten (Bud 1995: 210). *DECHEMA*, eine deutsche Fachgesellschaft für chemische Technik, hatte bereits 1974 im Auftrag des *Bundesministeriums für Forschung und Technologie* einen der ersten Berichte zur Biotechnologie vorgelegt, der sowohl die finanzielle Förderung der Biotechnologie in der Bundesrepublik anstieß und als Ideengeber gleichzeitig innerhalb ganz Europa einflussreich war

(ebd.). FASTs Vision einer europäischen Biogesellschaft war also beeinflusst von einer größeren unternehmerischen und nationalstaatlichen Anstrengung, die Biotechnologie in Europa in ein staatliches Interventionsfeld zu überführen. Die EFB hielt zwischen dem Ende der 1970er Jahre und dem Beginn der 1980er Jahre Workshops ab, die zur Grundlage der FAST-Berichte zur zukünftigen Biogesellschaft wurden.

Schon in einem der ersten FAST-Berichte, *The Old World and the New Technologies*, von 1980 finden sich Überlegung zu einer zukünftigen Biogesellschaft. 1982 übergab die FAST-Gruppe der Europäischen Kommission dann ihren Bericht *Eurofutures*, in dem sie die Vision der Biogesellschaft erstmals ausformulierte. Im Folgenden arbeite ich auf der Grundlage der FAST-Publikationen die Zukunftserzählung heraus, in deren Rahmen technologiepolitische Erwartungen an biobasierte Herstellungsverfahren formuliert wurden. Einerseits imaginierten die Zukunftsforscher die Biotechnologie ganz grundsätzlich als Weg zur industriellen Erneuerung in Europa. Andererseits stellten sie konkretere Überlegungen zur Anwendbarkeit der Biotechnologie im europäischen Kontext an. Dabei kristallisierte sich die Biotechnologie als Möglichkeit heraus, neue Wertschöpfungsketten zwischen der Chemieindustrie und der europäischen Landwirtschaft aufzubauen. Dieses Element der Zukunftserzählung bezeichnete die FAST-Gruppe als „agro-chemo-energy-complex“ (FAST 1984: 161). Welche Ziele, Annahmen, Vorstellungen und Empfehlungen enthielt FASTs Vision einer europäischen Biogesellschaft? Welches soziotechnische Zukunftsnarrativ entwarfen die FAST-Forscher?

Biotechnologie für die industrielle Erneuerung Europas

Zuallererst lässt sich FASTs Vision einer europäischen Biogesellschaft als typisches Beispiel einer „imagined recovery“ (Jessop 2013) lesen, wie sie der Soziologe Bob Jessop konzeptualisiert hat. Für die soziotechnische Vision der Biogesellschaft öffnete sich der diskursive Raum durch die Diagnose der multidimensionalen Wachstums-, Energie- und Umweltkrise in den 1970er Jahren. Die Krisendiagnose lieferte die Legitimationsgrundlage zur Gestaltung der Biotechnologie als politisches Interventionsfeld und als Weg zur Erneuerung der industriellen Grundlage europäischer Gesellschaften. Am elaboriertesten findet sich die Erzählung über die Biotechnologie als einer imaginierten Krisenlösung im ersten FAST Bericht *The Old World and the New Technologies* der französischen FAST-Forscher Michel Godet und Olivier Ruysen (Godet und Ruysen 1980).

Dieser Bericht verankerte die Vision der Biogesellschaft in der Erzählung einer negativen Zukunft, die zu ihrer Legitimation diene.

So behaupteten Godet und Ruysen in ihrem Bericht, dass sich europäische Gesellschaften nach den 1970er Jahren in einer widrigen, geradezu feindseligen Welt wiederfänden und mit einer Vielzahl an Herausforderungen – von ökonomischem Niedergang, über geldwirtschaftliche Unordnung, Energieverknappung, Umweltverschmutzung bis hin zum Auseinanderklaffen europäischer Regionen – konfrontiert seien. Vor allem sahen die Zukunftsforscher eine wachsende Bedrohung durch den Technologie-Wettbewerb mit den USA, Japan und den aufsteigenden Ländern der Dritten Welt (ebd.: 64). Damit schlossen Godet und Ruysen an die einflussreiche These einer ‚technologischen Lücke‘ zwischen Europa und den USA an, die der französische Journalist Jean-Jaques Servan-Schreiber bereits Ende der 1960er Jahre in seinem Bestseller *The American Challenge* formuliert hatte (Servan-Schreiber 1968). Das Narrativ der Zukunftsforscher war also tief durchdrungen vom Konzept des globalen Wettbewerbs, das seit den 1970er Jahren an Bedeutung gewonnen hatte. Der mögliche Verlust an Wettbewerbsfähigkeit in einer internationalen Wirtschaftsordnung avancierte zum wichtigsten Rechtfertigungsargument in den politischen Debatten um europäische Integration, Marktliberalisierung und Technologiepolitik (Liverani 2011: 55f.; Rosamond 2002).

Als einzige Möglichkeit zur Abwendung eines weiteren Abstiegs europäischer Gesellschaften definierten Godet und Ruysen die staatliche Förderung von Wissenschaft und Technik. Wenn Europa seinen Wettbewerbsvorteil und damit seinen Stand in der globalen Wirtschaftsordnung verteidigen wollte, dann wäre es unerlässlich

„to launch priority concerted action not only to manage the risks but also to master the possible futures. In practice, technology plays a central role in meeting economic, energy and industrial challenges with which Europe is confronted. Mastery of technological development will be the determining factor in our future“ (Godet und Ruysen 1980: 134).

Neben der Wahrnehmung einer europäischen ‚Technologielücke‘ gewann die Hoffnung der FAST-Forscher auf Wachstum durch Forschungsförderung ihre Legitimität nicht zuletzt auch aus dem größeren Zukunftsdiskurs um den Wandel der Gesellschaft von einer industriellen zu einer sogenannten ‚Wissensgesellschaft‘ (Liverani 2011: 54). FASTs Vision einer europäischen Biogesellschaft lässt sich einordnen in den Diskurs amerikanischer Futurologen wie Daniel Bell,

die in der Technologie, allen voran der Biotechnologie, die Chance sahen, die vom *Club of Rome* propagierten Grenzen des Wachstums zu überwinden (Cooper 2008: 18).

In der Biotechnologie sahen die Zukunftsforscher von FAST also einerseits ein „mächtige[s] Werkzeug für die Erneuerung und Weiterentwicklung der ökonomischen Basis der Gegenwartsgesellschaft“ und „Anreiz und Richtung für die Akkumulation von Investitionskapital, das zur Wiederherstellung neuen ökonomischen Wachstums nötig“ (FAST [1984] 1987: 12) sei. Andererseits erhofften sich die Zukunftsforscher, ebenso wie die Vertreter der Umweltbewegung, aber auch eine umweltfreundlichere, kreislauffähige Produktion:

„We are increasingly aware of the critical thresholds for environmental damage from products and pollutants which cannot readily be bio-degraded and recycled, and of the corresponding risks, via the food chain, to man himself. By contrast, such phenomena occur much less often in natural bio-systems, in which plant and animal substances are mostly decomposed and recycled via scavenging micro-organisms“ (Cantley und Sargent 1981: 324).

Die Nutzung der Biotechnologie könne der Menschheit also helfen,

„[to] recycle household wastes and rationally exploit the seas by breeding fish or cultivating marine plants such as giant seaweed and algae which can provide many by-products. Certain bacteria can help us produce leather, as is already done in Japan, and also plastics“ (Europäische Kommission 1980: 2).

Im Gegensatz zur ökotopischen Kunststoffvision von Ernest Callenbach wurden biobasierte Kunststoffe hier also nicht als Element einer neuen Wirtschaftsordnung imaginiert, die sich vom Wachstumsparadigma verabschiedet hätte. Vielmehr wurden sie im Rahmen der Vision einer Biogesellschaft an das Versprechen geknüpft, den Widerspruch zwischen ökonomischem Wachstum und Umweltschutz durch Biotechnologie auflösen zu können. Seit den 1970er Jahren hatte das gesellschaftliche Bewusstsein für die Interaktion zwischen Techno- und Biosphäre zugenommen. Auch FASTs-Vision der Biogesellschaft gründete auf der Einsicht, dass wir „von der Biosphäre ab[hängen] und (...) gleichzeitig ein immer wichtiger werdendes Element von ihr“ (FAST [1984] 1987: 9) sind. Anstatt jedoch den Einfluss der Menschheit auf die Biosphäre radikal zu minimieren, wie es etwa der Wirtschaftswissenschaftler Nicolas Georgescu-Roegen in seinem ‚bioökonomischen Minimalprogramm‘ (Georgescu-Roegen 1975) vorgeschlagen hatte, war die Vision der Zukunftsforscher durchdrungen von der Idee, die Biosphäre für den Menschen produktiv zu machen und den Umgang mit ihr zu rationalisieren. Für FAST war die Biogesellschaft „eine Gesellschaft, die sich auf die bewußte Steuerung von sich selbst organisierenden Systemen

gründet, um menschliches Leben und dessen Zwecke zu unterhalten und zu bereichern“ (FAST [1984] 1987: 9).

Obwohl sich die Zukunftsforscher auf das grundsätzliche Potential der Biotechnologie fokussierten, war ihre Perspektive auf die Biogesellschaft umfassender und schloss alle menschlichen Interaktionen mit der Biosphäre ein. Zur Steuerung der zukünftigen Biogesellschaft nahm die FAST-Gruppe daher auch alle angewandten Wissenschaften in die Verantwortung. Sie setzen die Biotechnologie also in Bezug zu *Anwendungsfeldern* wie der Medizin oder der Landwirtschaft, mit denen der Mensch in die Biosphäre eingreift. Gerade die Landwirtschaft und deren notwendige Veränderung nahmen einen zentralen Platz in ihrer Vision einer europäischen Biogesellschaft ein.

Der „Agro-Chemo-Energy Complex“

Angesichts der Geschichte der Europäischen Union ist es nicht überraschend, dass die Zukunft der Landwirtschaft ein zweites Schlüsselement in FASTs Vision einer europäischen Biogesellschaft darstellte. So imaginierten die Zukunftsforscher eine umfassende Umgestaltung der europäischen Landnutzung mithilfe der Biotechnologie. Die Biotechnologie sollte vor allem neue, profitable Nutzungsmöglichkeiten für landwirtschaftliche Produkte schaffen, sodass letztlich ein struktureller Wandel der europäischen Landwirtschaft erreicht würde. Als eine ihrer „fünf Hauptstrategien für die 80er Jahre“ schlugen sie vor, die europäische Landwirtschaft entlang der Achse „Landwirtschaft-Chemie-Energie“ (FAST [1984] 1987: 172) zu erneuern. Ähnlich wie die Vision der US-amerikanischen Chemurgisten in den 1920er Jahren oder ihrer ‚Nachfahren‘ in den 1970er Jahren lief die Vision einer europäischen Biogesellschaft auf die Schaffung von Wertschöpfungsketten zwischen der Landwirtschaft, der Chemie- und der Energieindustrie hinaus. Diese sollte den Nutzen landwirtschaftlicher Produkte maximieren und die europäische Landwirtschaft besser an den Marktmechanismus anpassen.

Während die primäre Aufgabe europäischer Landwirtschaft bis in die 1980er Jahre die Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmitteln war, definierte die FAST-Gruppe in ihren Berichten diesen Teilbereich der Wirtschaft neu. Anstelle der traditionellen Wertschöpfungsketten schlugen sie vor, die Landwirtschaft in ein „System erneuerbarer natürlicher Ressourcen“ (ebd.: 27) zu transformieren. In diesem neuen System würde die Landwirtschaft nicht mehr nur Lebensmittel, sondern die Rohstoffe für die Produktion von Energie, Chemikalien und Materialien liefern. Die

Annahme, die dieser Idee zu Grunde lag, war die recht simplifizierte – und moralische Werturteile ausblendende – Vorstellung, dass Lebensmittel, Chemikalien und Energie im Prinzip austauschbare Produkte seien. Diese Vorstellung implizierte ein flexibles Biomasse-System, das an den Mechanismus von Angebot und Nachfrage angepasst wäre. Das Konzept des Systems erneuerbarer natürlicher Ressourcen war durchzogen von einem ökonomischen Denken der Produktivmachung, Rationalisierung und flexibilisierten Nutzung der Natur. Im neuen System müsse der Mensch seine Verantwortung als „Biomanager“ erkennen, der sich über die „Balance und des Verhaltens lebender Systeme bewußt“ sei, „und zwar nicht im Labor, sondern vor allem im Weltmaßstab, wo immer größerer Bedarf an rechtzeitiger Antizipation entsteht“ (ebd.: 192f.). Nicht nur für den Mensch war in Zukunft ein unternehmerischer Umgang mit der Natur gefragt. Auch die landwirtschaftlichen Produkte selbst würden in Zukunft zu sogenannten „bio-factories“ (FAST 1987: IV) werden, die maßgeschneiderte hochwertige Chemikalien produzieren könnten.

Neben der Definition neuer Wertschöpfungsketten und der Imagination neuer Rollen für Menschen und Pflanzen produzierten die Zukunftsforscher Wissen über den anvisierten „agro-chemo-energy-complex“ (FAST 1987). In Studien begannen die Forscher damit, die ‚potentiellen technologischen und ökonomischen Verbindungen hervorzuheben, die sich zwischen den drei Sektoren über die nächsten 15 bis 20 Jahre entwickeln könnten, und Forschungsschwerpunkte auszuloten, die eine Nutzung des vorhandenen Potentials möglich machen würden‘ (FAST 1984: 162). Sie beleuchteten das vorhandene Biomasse-Angebot, aufstrebende Biotechnologien und die gegenwärtige politische Regulation mit Blick auf ein in Zukunft relevantes Feld politischen und ökonomischen Handelns. Sie selbst gaben an, dass ihre Studien auf einer Als-ob-Annahme beruhe – „as though Europe’s renewable resource system mattered“ (ebd.: 152). Ausgehend von dieser Annahme, beschäftigte sich FAST mit der Frage: „What could the European land area give us, particularly in conjunction with continuing progress in plant genetics, or high intensity agriculture?“ (ebd.: 162). Dadurch dass FAST immer mehr Wissen über die Menge und Verteilung europäischer Biomasse, deren potentielle Nutzungsmöglichkeiten, und die dafür notwendigen technologischen Entwicklungen und politischen Maßnahmen produzierte, kreierten sie den „agro-chemo-energy-complex“ als eine Art ‚mentale Landkarte‘ (Jessop 2012: 17), die Orientierung bot für politische und ökonomische Entscheidungsträger.

Um den „agro-chemo-energy-complex“ von der Vision zur Realität zu führen, schlugen die Zukunftsforscher einerseits öffentliche Investitionen in die Biotechnologie und biobasierte

Produktionsprozesse, insbesondere an der Schnittstelle von Landwirtschaft und Chemieindustrie, vor. Gleichzeitig votierten sie für die Abschaffung der protektionistischen Agrarpolitik der Europäischen Gemeinschaft, die der Nutzung europäischer Agrarprodukte in der Industrie bis dahin im Weg stand (FAST [1984] 1987: 40). Während die Biotechnologie sich scheinbar im Aufstieg befand, war die gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Gemeinschaft seit den 1970er Jahren in die Krise geraten. Auch deshalb gewannen die Vorschläge der FAST-Gruppe in der Politikgestaltung an Bedeutung.

Landwirtschaftliche Überproduktion und die Zukunft der Gemeinsamen Agrarpolitik

Die Vision einer europäischen Biogesellschaft stieß bei der Europäischen Kommission nicht nur deshalb auf Resonanz, weil sie eine langfristige Strategie zur wirtschaftlichen Erneuerung vorzeichnete. Vielmehr war die Kommission auch mit einem akuten politischen Problem konfrontiert, das nach einer Lösung verlangte. Seit den 1960er Jahren gehörte die Gemeinsame Agrarpolitik zu den wichtigsten Politikbereichen der Europäischen Gemeinschaft. Der größte Teil des europäischen Haushalts wurde auf die Agrarpolitik und hier vor allem auf die Subventionierung der europäischen Bauern verwendet. Gemeinsam mit der Effizienzsteigerung der Landwirtschaft trug die europäische Agrarpolitik dazu bei, dass sich große Agrarüberschüsse ansammelten, die sich zunehmend zu einer finanziellen Belastung für die Länder der Europäischen Gemeinschaft entwickelten (Ludlow 2009: 87). Mit der wirtschaftlichen Rezession der 1970er Jahre, den steigenden Kosten für die Agrarsubventionen und wachsenden Zweifeln an deren Wirksamkeit verlor die staatliche Interventionspolitik an politischer Zustimmung. Für die *Europäische Kommission* der frühen 1980er Jahre nahm die Gemeinsame Agrarpolitik nicht mehr die zentrale Stellung für das europäische Integrationsprojekt ein, während Technologiepolitik an Bedeutung gewann (ebd.: 91). Agrarpolitik galt nun als ‚Erbe der Vergangenheit‘ und nicht mehr als ‚Zutat für die Zukunft‘ (ebd.: 93) Europas, wie der Politikwissenschaftler Peter Ludlow schreibt.

Angesichts wachsender landwirtschaftlicher Überschüsse suchte die Kommission nach neuen Wegen für die europäische Landwirtschaft. In der Debatte um deren Zukunft legte sie Hoffnungen in die Biotechnologie, die eine Ausrichtung der Landwirtschaft am Marktmechanismus ermöglichen sollte. Im Jahr 1985 veröffentlichte die Kommission ein *Green Paper* mit dem Titel *A future for European Agriculture*, in dem sie ihre Vision einer stärker marktorientierten Landwirtschaft ausformulierte. Darin kam sie zum Schluss, dass nun weitestgehend Einigkeit

darüber herrsche, dass ‚eine Landwirtschaft, die nicht für den Markt produziert, eine Landwirtschaft ohne solide langfristige Perspektive ist‘ (Europäische Kommission 1985: 3). Der landwirtschaftliche Sektor solle daher in Zukunft ‚nicht mehr vom Rest der Wirtschaft getrennt sein‘ (ebd.: 10). Um Angebot und Nachfrage für landwirtschaftliche Produkte in Einklang zu bringen, böte sich u. a. die Entwicklung neuer Märkte an der Schnittstelle zwischen Industrie und Landwirtschaft an. Während die Landwirtschaft immer schon zu einem gewissen Maße Rohstoffe für die Industrie geliefert habe, hätten die Fortschritte in der Biotechnologie den Weg geebnet, Pflanzen nun auch zur Herstellung von Chemikalien zur verwenden. Die Kommission sah jetzt ‚a number of possibilities in these fields which could lead to new market outlets for agriculture and help to maintain income and employment capacities in rural regions, both in the agricultural sector and processing industries‘ (ebd.: 33). Große Erwartungen hatte die Kommission vor allem an biologisch abbaubare Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen als Schnittstelle zwischen beiden wirtschaftlichen Sektoren (ebd.: 36).

Neben FASTs Zukunftsstudien war die Kommission in ihrer Erwartung an biologisch abbaubare Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen auch von weiteren Prognosen beeinflusst. Der europäische Verband der Chemieindustrie selbst erwartete Mitte der 1980er Jahre von biologisch abbaubaren Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen das größte Potential zur Verwertung von Zucker in der chemischen Industrie (Cefic 1985, zit in: Spelman 1991). Außerdem hatte die *Generaldirektion für Wissenschaft, Forschung und Entwicklung* eine Studie in Auftrag gegeben, die das Absatzpotential für europäische Getreidepflanzen konkreter ausloten sollte. Die Autoren der Studie, Finn Rexen und Lars Munck, zwei Biotechnologen des *Carlsberg Research Laboratory* in Kopenhagen, kamen zum Schluss, dass im Jahr 2000 bis zu 840,000 Tonnen Stärke jährlich in der Kunststoffindustrie abgesetzt werden könnten (Rexen und Munck 1984: 104). Dabei bezogen sich Munck und Rexen in ihren Prognosen vor allem auf die Veröffentlichungen jener amerikanischen Wissenschaftler, die seit Mitte der 1970er Jahre chemurgische Ideen wiederbelebt hatten. Im Kontext der Debatte um die Zukunft der Landwirtschaft gewannen ihre chemurgischen Ideen auch in Europa an Bedeutung.

Soziotechnische Vorstellungswelten operieren zwischen Narration und Handlung. Sie leiten politische Entscheidungen an und lenken Fördergelder in bestimmte Bereiche (Jasanoff und Kim 2009; 2015). Im Fall der europäischen Biogesellschaft fand die Idee des ‚agro-chemo-energy-complex‘ seit den 1980er Jahren Ausdruck in der Gemeinsamen Agrarpolitik und in der

europäischen Forschungsförderung. Bereits 1986 verabschiedeten europäische Politiker eine Verordnung, die der Chemieindustrie den Zugang zu europäischen Agrarprodukten zu Weltmarktpreisen ermöglichen sollte. Jetzt konnten Hersteller von Tensiden, Pharmazeutika, Kunststoffen und anderen chemischen Produkten für den Preisunterschied zwischen Binnen- und Weltmarkt kompensiert werden, wenn sie europäische Stärke oder Zucker in ihren Produktionsprozessen verwendeten (Harris 1987). Seit den frühen 1990er Jahren setzte die EG außerdem das Instrument der Flächenstilllegung ein, um die Agrarüberschüsse zu verringern. Auf der Hälfte der stillgelegten Flächen war es den europäischen Bauern erlaubt, nachwachsende Rohstoffe für Energie- und Chemieproduktion anzubauen (Dietz 1994: 18). In der Technologiepolitik implementierte die Kommission zusätzlich zur Förderung der Grundlagenforschung in der Biotechnologie und zur Förderung der Bioenergie eine Reihe aufeinanderfolgender Forschungsförderungsprogramme, die sich speziell der Verknüpfung von Landwirtschaft und chemischer Industrie widmen sollten. Im Rahmen der Programme ECLAIR (1988-1993), AIR (1991-1994) und FAIR (1994-1998) unterstützte die Europäische Gemeinschaft Universitäten und Unternehmen u. a. auch bei der Entwicklung von Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen und der Entwicklung von Industriestandards für diese Stoffe mit dem Ziel, neue Absatzmärkte für die Landwirtschaft zu schaffen (Coombs 2007).

Obwohl dieser *erste* Anlauf, neue Wertschöpfungsketten zwischen der Landwirtschaft und der Chemieindustrie aufzubauen, kaum erfolgreich war (Mangan und Coombs 2004), ist diese Phase europäischer Technologiepolitik dennoch relevant für das Verständnis der Bildung von Erwartungen an biobasierte Kunststoffe. Am Beispiel der Vision einer europäischen Biogesellschaft und deren versuchter Realisierung durch Forschungsförderungsprogramme seit den 1980er Jahren habe ich gezeigt, dass neben der Hoffnung auf eine (langfristig) verfügbare und günstige Rohstoffgrundlage und neben der Hoffnung auf umweltfreundliche Produkte auch die politische Hoffnung auf Absatzmärkte für die Landwirtschaft und auf die Biotechnologie als neuem Wachstumsgenerator dazu beitrug, dass sich Biobasiertheit zu einer potentiell wertvollen Eigenschaft von Kunststoffen entwickelte.

4.4. Zwischenfazit

Im vorangegangenen Kapitel habe ich die Frage untersucht, wie sich *Biobasiertheit* seit den 1970er Jahren zu einer potentiell wertvollen Eigenschaft für Kunststoffe entwickelte. Ausgehend von der Annahme, dass Erwartungen an die Zukunft eine zentrale Sinnressource für die Zuschreibung von

Wert darstellen, habe ich Erwartungen an pflanzliche Rohstoffe in drei gesellschaftlichen Bereichen untersucht. Ich konnte zeigen, dass jeweils unterschiedliche Krisendiagnosen in den 1970er und 1980er Jahren dazu führten, dass in der Industrie, unter Umweltschützern und in der Politik eine Auseinandersetzung über die zukünftige Rohstoffgrundlage der chemischen Industrie entstand, in denen sich unterschiedliche Erwartungen an die industrielle Nutzung pflanzlicher Rohstoffe bildeten.

Kapitel 4.1. hat die Auseinandersetzung um die zukünftige Rohstoffgrundlage in der Chemie- und Kunststoffindustrie untersucht, die als Reaktion auf die Probleme der Rohstoffversorgung seit Anfang der 1970er Jahre aufkam. Für die Industrie bestand in den 1970er Jahren das zentrale Problem im Anstieg des Erdölpreises und der Unsicherheit über die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte. Die Auseinandersetzung in der Industrie war daher vor allem von der Frage geprägt, welche Rohstoffquelle in Zukunft günstiger bzw. ökonomisch notwendig sein würde. Dabei waren die 1970er Jahren von der ökonomischen Erwartung geprägt, dass der Erdölpreis kontinuierlich weiter ansteigen würde und in einem langfristigen Transformationsprozess Erdöl zunächst von Kohle und später von Biomasse ersetzt würde. Die neu einsetzende Suchbewegung nach alternativen Rohstoffquellen ermöglichte es landwirtschaftlichen Interessenvertretern in den USA, die chemurgische Vision einer biobasierten Chemieindustrie zu reaktivieren, die bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts Investitionen in die Entwicklung von Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen gelenkt hatte. Während die Rohstoffgrundlage der Chemieindustrie in den 1950er und 1960er Jahren beinahe ausschließlich aus Erdöl bestand, gewann die Investition in biobasierte Herstellungsverfahren mit der Erwartung steigender Ölpreise wieder an Legitimität.

In Kapitel 4.2. habe ich die ökologischen Erwartungen an Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in den 1970er rekonstruiert. Ich habe gezeigt, dass die Energiekrise der 1970er Jahre aus ökologischer Perspektive nicht als ein rein ökonomisches Problem interpretiert wurde, sondern vielmehr als ein Anzeichen für eine tiefgehendere Krise des wachstumsorientierten Produktionssystems. Die *Verschwendung* fossiler Rohstoffe für Produkte, die mit der modernen Wegwerfgesellschaft assoziiert waren, ließ sich aus ökologischer Perspektive nicht mehr rechtfertigen. Die ökologischen Erwartungen an biobasierte Kunststoffe richteten sich allerdings nicht nur auf eine Einsparung von fossilen Rohstoffen. Sie wurden auch mit der Vorstellung verknüpft, dass pflanzliche Rohstoffe ebenso zu einer besseren biologischen Abbaubarkeit von

Kunststoffprodukten führen würden. Ihr ökologisches Wertversprechen gewannen biobasierte Kunststoffe also durch die Vorstellung, das mit ihnen sowohl Ressourcen eingespart als auch das idealisierte Kreislaufmodell vollendet werden könnte.

In Kapitel 4.3. habe ich gezeigt, dass sich Erwartungen an die industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe auch im Rahmen von technologiepolitischen Zukunftsdiskursen formierten. Während die ersten beiden Kapitel primär den US-amerikanischen Raum abgebildet haben, lag der Fokus hier auf der Europäischen Gemeinschaft in den 1980er Jahren. Europäische Entscheidungsträger waren zu diesem Zeitpunkt sowohl auf der Suche nach einem Weg aus der Wachstumskrise der 1970er Jahre und gleichzeitig mit dem Problem zunehmender landwirtschaftlicher Überproduktion konfrontiert. Zukunftsforscher des ersten Foresight-Programms der Kommission, FAST, formulierten die Vision einer europäischen Biogesellschaft, in der die Biotechnologie eine Brücke zwischen Chemie- und Agrarindustrie bilden würde. Die Umstellung chemischer Produktionsprozesse auf biobasierte Verfahren sollte einerseits neues ökonomisches Wachstum und andererseits neue Absatzmärkte für die Landwirtschaft schaffen. Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen waren Teil dieser Vision; sie wurden in den 1980er Jahren als eine vielversprechende Schnittstelle zwischen Landwirtschaft und Chemieindustrie imaginiert.

Zusammenfassend hat das Kapitel gezeigt, dass Biobasiertheit ihren Wert im Schnittpunkt verschiedener Regulationsvisionen gewann, in denen heterogene Erwartungen an das zukünftige Potential von Kunststoffen aus Pflanzen artikuliert wurden. Diese Heterogenität der Erwartungen zeigt einerseits an, dass die Idee der Biobasiertheit unterschiedliche Interessengruppen miteinander verbinden konnte, die sich von der Entwicklung biobasierter Kunststoffe – jeweils aus eigenen Interessen – eine Lösung für ein bestimmtes Problem versprachen. Gleichzeitig deutet sich in der Heterogenität aber auch ein Spannungsverhältnis zwischen ökonomischen bzw. technologiepolitischen Erwartungen auf der einen Seite und ökologischen Erwartungen auf der anderen Seite an. Während Umweltschützer wie Callenbach Kritik am Wachstumsparadigma übten und biobasierte Kunststoffe als Teil einer alternativen Wirtschaftsordnung imaginierten, wollten landwirtschaftliche Interessenvertreter und politische Organe wie die *Europäische Kommission* mithilfe von biobasierten Produktionsprozessen gerade neues ökonomisches Wachstum generieren und Märkte für die Intensiv-Landwirtschaft ausweiten.

5. Polyhydroxybuttersäure und Polylactide: von wertlosen Substanzen zu Innovationsobjekten

Das vorangegangene Kapitel hat Erwartungen an pflanzliche Rohstoffe als grundlegende Möglichkeitsbedingungen für die Entwicklung biobasierter Kunststoffe herausgearbeitet. Ich habe gezeigt, wie die Idee einer biobasierten Chemieindustrie im Kontext der Ölpreis-, Umwelt- und Agrarkrise zwischen den 1970er und 1980er Jahren reaktiviert wurde und wie sich neue ökonomische, ökologische und technologiepolitische Erwartungen an Kunststoffe aus Pflanzen formierten. Damit sich aber biobasierte Kunststoffe tatsächlich zu Innovationsobjekten entwickelten, mussten Unternehmen, Forschungsinstitute und staatliche Förderinstitutionen nicht nur grundsätzlich vom Potential pflanzlicher Rohstoffe überzeugt sein. Vielmehr mussten sie sich zudem entscheiden, in welche *konkreten* biobasierten Polymere sie ihre Forschungs- und Entwicklungsgelder investieren wollten. Generelle Möglichkeitsbedingungen sagen wenig darüber aus, wie sich bestimmte chemische Verbindungen zu Innovationsobjekten entwickelt haben.

In diesem Kapitel wechsele ich daher die Perspektive. Ich untersuche im Folgenden die Geschichte von zwei konkreten Polymeren: Polylactide (PLA) und Polyhydroxybuttersäure (PHB). Beide Polymere waren bereits vor den 1970er Jahren in der Polymerforschung und der Kunststoffindustrie bekannt, galten allerdings im Grunde als wertlose Substanzen und wurden nicht als potentielle Massenkunststoffe erkannt. Das Kapitel untersucht die Frage, wie sich beide Polymere im Kontext der neuen Erwartungen an pflanzliche Rohstoffe von *wertlosen Substanzen* zu Kunststoffen mit *Zukunftspotential* entwickelten.

In Anlehnung an objektbiographische Ansätze verfolge ich PLA und PHB von ihrer ersten wissenschaftlichen Beschreibung bis in die 1980er Jahre als eine wachsende Zahl von Forschungsinstituten und Unternehmen damit begann, die bis dahin relativ unbedeutenden Polymere zu marktfähigen Kunststoffen weiterzuentwickeln. Häufig beziehen sich Objektbiographien auf individuelle Vertreter einer Objektklasse und fragen danach, wie deren Bedeutung in konkreten sozialen Interaktionen transformiert wird (Kopytoff 1986). Objektbiographien können sich allerdings auch, wie im Folgenden, gesamthaft auf eine Objektklasse beziehen und den Wandel kultureller Bedeutungszuschreibungen über lange Zeitspannen hinweg in den Blick nehmen. Studien, die sich mit den Biographien wissenschaftlicher Objekte auseinandersetzen, argumentieren, dass solche Objekte „grow more richly real as they

become entangled in webs of cultural significance, material practice and theoretical deviations. (...) they become ever more widely connected to other phenomena“ (Daston 2000: 13). In ähnlicher Weise liegt dem folgenden Kapitel die Annahme zugrunde, dass chemische Verbindungen interpretationsoffene Dinge sind, die ihren Status als *ökonomisch relevante* Objekte sowohl durch physische Modifikationen in Forschungslaboren, durch den Übergang von einem sozialen Kontext in den anderen und durch ihre Assoziation mit bestimmten Zukunftsnarrativen gewinnen.

Der Schritt zur Entwicklung neuer Polymere, der hohe Investitionen in den Bau von Pilot-, Demonstrations- und letztlich kommerziellen Produktionsanlagen voraussetzt, involviert grundsätzlich bei allen Kunststoffen einen vorgelagerten Bewertungsprozess, in dem Wissenschaftler das kommerzielle Potential einer chemischen Verbindung einschätzen, um eine entsprechende Marktnische anzuvisieren oder eben nicht. Diese Einschätzung basiert zwar einerseits auf den physischen Eigenschaften der Polymere. Andererseits zeige ich in diesem Kapitel, dass die Zuschreibung von Marktpotential auch auf historisch variablen Erwartungen an politische, gesellschaftliche, ökonomische oder technologische Entwicklungen gründet. Die Einschätzung des kommerziellen Potentials von Polymeren ist ein situationsbezogener, adaptiver Prozess, der vor dem Hintergrund sich veränderter Zukunftsnarrative abläuft. Ich argumentiere also, dass der Wandel von Erwartungen ein entscheidender Faktor ist, der aus wertlosen chemischen Substanzen verheißungsvolle Innovationsobjekte in der Kunststoffentwicklung machte. Die Geschichte von PLA und PHB lässt sich demnach auch als eine Geschichte des Wandels von Erwartungen beschreiben.

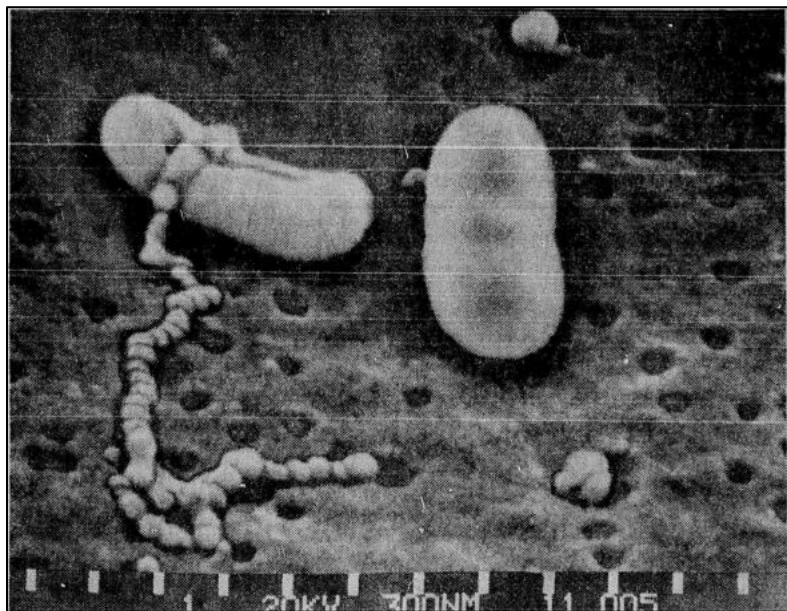
In Kapitel 5.1. rekonstruiere ich die Objektbiographie von PHB; in Kapitel 5.2. die Objektbiographie von PLA. Ich arbeite in beiden Fällen konkrete Umbruchsmomente heraus, an denen sich ablesen lässt, wie sich die Einschätzungen des kommerziellen Potentials beider Polymere zwischen der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts und dem Zeitraum zwischen den 1970er und 1980er Jahren veränderte.

5.1. Polyhydroxybuttersäure: Bakterien als Kunststoffproduzenten

Polyhydroxybuttersäure (PHB) gehört zu den ersten biobasierten Kunststoffen, die im Zeitraum zwischen den 1970er und 1980er Jahren in den Fokus der chemischen Industrie rückten. Im Gegensatz zu konventionellen Kunststoffen handelt es sich bei Polyhydroxybuttersäure um einen natürlich vorkommenden Polyester, der durch direkte Synthese von bestimmten Bakterienarten in

ihren Körperzellen produziert wird. Dabei ist PHB Teil einer größeren Familie natürlicher Polyester, die heute als Polyhydroxyalkanoate (PHA) bezeichnet werden. Ähnlich wie der menschliche Organismus Energie in Form von Fettreserven speichert, legen eine Reihe von Bakterien Energiespeicher in Form von PHA an, die sie als körnchenförmige Granula in ihren Zellen speichern (siehe Abb. 7). In der Natur produzieren Bakterien PHA durch die Fermentation von Zucker oder Fetten, wenn sie bestimmten Mangelbedingungen ausgesetzt sind. Anders als bei konventionellen Kunststoffen, die eben künstlich, d. h. von Menschenhand synthetisiert werden, handelt es sich bei PHB also um ein natürliches Produkt des Bakterienstoffwechsels. Hinter der bakteriellen Synthese des Polymers steht zunächst einmal kein kommerzielles Interesse. Bakterien verfolgen keine ökonomischen Absichten. Wie also wurde aus dem natürlichen Produkt des Bakterienstoffwechsels ein Innovationsobjekt der Chemieindustrie?

Abb. 7: PHB-Granulat in den Zellen des Bakteriums *Alcaligenes Eutrophus*



Polyhydroxybuttersäure als mikrobieller Energiespeicher (1920er-1950er Jahre)

Die Biographie von PHB beginnt in der mikrobiologischen Forschung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Zwischen den 1920er und 1950er Jahren veröffentlichte der Biologe Maurice Lemoigne, der am *Pasteurs-Institut* in Lille arbeitete, umfassende Studien zu den Eigenschaften von PHB, nachdem er die Isolation des Stoffs aus den Zellen des Bakteriums *Bacillus megaterium* erstmals wissenschaftlich beschrieben hatte (u.a. Lemoigne 1927). Da die chemische Wissenschaft die Existenz von Polymeren zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht anerkannte, kategorisierte

Lemoigne den Stoff als Lipid und nicht als Polymer. Außerdem veröffentlichte er seine Erkenntnisse lediglich in kleinen französischen Fachzeitschriften. Die wissenschaftliche Entdeckung von PHB blieb daher zunächst weitestgehend unbemerkt (Lenz und Marchessault 2005: 3). Ende der 1950er Jahre rückte die Substanz jedoch zunehmend in den Fokus von Mikrobiologen und Biochemikern an deutschen, britischen und amerikanischen Universitäten. Die Zahl der wissenschaftlichen Publikationen zu PHB stieg nun an und es entstand ein umfassendes Wissen über die Verbreitung, Eigenschaften, Synthese und den Abbau von PHB in der Natur. Später wurde dieses Wissen zur Grundlage für ihre industrielle Herstellung (Braunegg, Lefebvre und Genser 1998: 129; Marchessault 2009: 357).

Zunächst blieb die mikrobiologische Forschung jedoch auf die Frage beschränkt, welche Relevanz der Stoff für den Bakterienorganismus hat. Mikrobiologen und Biochemiker näherten sich PHB aus der Perspektive biochemischer Grundlagenforschung. Bis in die 1960er Jahre wurde PHB daher primär in seiner Funktion für das Überleben der Bakterien untersucht. Im Gegensatz dazu schenkten die frühen PHB-Forscher anwendungsorientierten Fragestellungen kaum Aufmerksamkeit. Die Frage, ob diese Substanz, die den Bakterien als Energiespeicher dient, auch einen Nutzen für den Menschen haben könnte, lag zunächst nicht im Interessensspektrum der Forscher (Braunegg, Lefebvre und Genser 1998: 130). Unter klassischen Kunststoffchemikern war PHB bis in die 1960er Jahre gar nicht erst bekannt, da deren Fokus auf petrochemischen Rohstoffen und dem klassischen Verfahren der Kunststoffsynthese lag. Für Bakterien und Biosynthese interessierten sich Kunststoffentwickler zu diesem Zeitpunkt nicht. Zunächst gab es also niemanden, der den potentiellen Nutzen von PHB als Kunststoffmaterial in Erwägung zog (o.A. 1963a: 40).

Polyhydroxybuttersäure als thermoplastischer Kunststoff ohne besondere Eigenschaften (1960er Jahre)

Eine erste Neubewertung von PHB ergab sich, als das US-amerikanische Chemieunternehmen *W.R. Grace & Co.* Ende der 1950er Jahre den Biochemiker James Baptist einstellte. *Grace und Co.* war gerade in die aufstrebende Kunststoffindustrie eingestiegen und nun in der Herstellung von Polyvinyl-Verpackungen tätig. Zunächst sollte Baptist als Biochemiker den Reifungsprozess von Obst in Kunststoffverpackungen erforschen (Marchessault 2009: 358). Stattdessen schlug er aber vor, ein ‚neues‘ Polymer zu untersuchen, das sich möglicherweise als thermoplastischer Kunststoff

eignen könnte (ebd.). Während PHB in der Kunststoffindustrie zu diesem Zeitpunkt nicht bekannt war, brachte Baptist die Faszination für den Stoff aus seiner vorherigen wissenschaftlichen Tätigkeit an der Universität von Michigan mit in das Chemieunternehmen. Als Biochemiker konnte er die Grenzen zwischen Biologie und Polymerchemie überschreiten und zwischen beiden Disziplinen vermitteln. Anfang der 1960er Jahre überzeugte er die Unternehmensleitung von *Grace und Co.*, ein Forschungsprojekt zu finanzieren, in dem das Marktpotential von PHB erstmals umfassend eingeschätzt werden sollte (ebd.).

Dabei gründete Baptist Hoffnung in den Erkenntnissen der frühen PHB-Forschung. So war bereits bekannt, dass der Schmelzpunkt von PHB in einem ähnlichen Bereich lag wie bei thermoplastischen Massenkunststoffen (Werber und Baptist 1964: 245). Die Forschungsberichte von Baptist deuten darauf hin, dass dabei weder die Biobasiertheit noch die biologische Abbaubarkeit des Stoffs eine signifikante Rolle für das anfängliche industrielle Interesse an PHB spielte (ebd.). In einem mehrjährigen Projekt testete Baptist, gemeinsam mit seinem Kollegen, dem Polymerchemiker Francis Werber, unterschiedliche Bakterienstämme für die Herstellung von PHB. Es gelang ihnen mit Hilfe des Bakteriums *Rhizobium*, ausreichende Mengen der Substanz herzustellen und sie auf ihre mechanischen Eigenschaften hin zu untersuchen. Zu welchem Urteil kamen die beiden Wissenschaftler?

Aus Baptists Patenten geht hervor, dass die beiden Forscher aufgrund der physischen Eigenschaften von PHB durchaus Anwendungspotential für das Polymer sahen. So war Baptist davon überzeugt, dass PHB durch konventionelle Methoden der Kunststoffverarbeitung zu Folien oder andere Formen verarbeitet werden könnte und sich als Material für Beschichtungen oder Fasern eignen würde. Anwendungsmöglichkeiten sah Baptist insbesondere im Bereich der Medizin als Material für chirurgische Fäden oder Prothesen (Baptist 1962: 1). In der PHB-Forschung erzählte man sich später ‚heroische Geschichten‘ darüber, wie Baptist in blutigen Selbstversuchen herausgefunden hatte, dass PHB vom menschlichen Körper absorbiert wird (Marchessault 2009: 358). Baptist schlussfolgerte daher, dass PHB zu chirurgischen Fäden verarbeitet werden könne, die nach der Operation nicht wieder aus dem Körper entfernt werden müssten (Baptist 1962: 1). Theoretisch, so das Urteil der Wissenschaftler, käme PHB sogar als Verpackungsfolie in Frage. Ein erster, allerdings sehr kurzer Bericht über PHB im *New Scientist* fragte entsprechend: „Bacteria to make a packaging film?“ (o.A. 1963b: 190).

Obwohl PHB aufgrund seiner physischen Eigenschaften ein industrieller Nutzen bescheinigt wurde, entschied *Grace und Co.* jedoch nach vier Jahren das PHB-Projekt zu beenden. Aus den Forschungsberichten von Baptist und Werber geht hervor, dass sowohl technische Probleme als auch ökonomische Erwartungen dazu führten, dass sich das Unternehmen gegen eine Weiterentwicklung von PHB zu einem kommerziellen Produkt entschied. Erstens kämpften die Forscher mit der starken ‚thermischen Abbaubarkeit‘ des Polymers, die dazu führte, dass die Esterverbindungen schon kurz über dem Schmelzpunkt begannen sich aufzulösen und der Stoff dann in seine chemischen Komponenten zerfiel (Werber und Baptist 1964: 249). Dies ließ schwerwiegende Verarbeitungsprobleme bei der Herstellung von Kunststoffprodukten erahnen.

Außerdem konnte eine industrielle Produktion von PHB, die den Aufbau von Fermentationsanlagen involviert hätte, zu diesem Zeitpunkt ökonomisch nicht gerechtfertigt werden. Retrospektiv ließe sich auch sagen, „that they were ahead of their time and the likelihood that large scale production by fermentation could be justified as a component of their polymer business, was questionable“ (Marchessault 2009: 358). Im ressourcenoptimistischen Jahrzehnt der 1960er Jahre bestand kein Anlass dazu, die Erdölindustrie als Rohstofflieferant der Kunststoffindustrie in Frage zu stellen – „there was no easily identifiable reason to think that fossil fuels would not remain low priced in the foreseeable future“ (Braunegg, Lefebvre und Genser 1998: 130), wie die PHB-Forscher um Gerhart Braunegg im Rückblick auf die Zeit vor der ersten Ölpreiskrise feststellen.

Ganz im Gegenteil schätzen Baptist und Werber die Tatsache, dass es sich bei PHB um einen Kunststoff aus pflanzlichen Rohstoffen handelt, als ökonomischen *Nachteil* ein. Lediglich in Entwicklungsländern mit einer unterentwickelten Kunststoffindustrie ohne Zugang zu Erdöl und einem großen Angebot an pflanzlichen Rohstoffen, könne solch ein Kunststoff überhaupt produziert werden, prognostizierten die beiden. Aber selbst dann, so ihre Erwartungen, würde sich PHB nur für die lokale Nutzung in Entwicklungsländern eignen. PHB in einem industrialisierten Land mit einer entwickelten petrochemischen Kunststoffindustrie rentabel herzustellen und zu vermarkten, stellte sich für die beiden Forscher im Gegensatz dazu nicht als realistische Option dar (Baptist und Werber zit. in: o.A. 1963a: 41).

Neben den ökonomischen Nachteilen konnten Baptist und Werber in den 1960er Jahren auch keine besondere physische Eigenschaft erkennen, die dem Stoff eine Nische in den wachsenden

Verpackungsmärkten eröffnet hätte. In den 1960er Jahren sollten Kunststoffe vor allem möglichst *stabil* sein; das Abfallproblem der Kunststoffe hatte noch keine öffentlichkeitswirksame Bedeutung erlangt. Biologische Abbaubarkeit existierte zu diesem Zeitpunkt nicht als Konzept oder als ein erstrebenswertes Innovationsziel in der Kunststoffentwicklung. Dementsprechend konnten Baptist und Werber auch keine so gearbete Marktnische für PHB imaginieren. „[A] lack of any outstanding physical properties, plus its disadvantages, makes it unlikely that the polyester could compete with general-purpose plastics“ (ebd.), lautete ihre abschließende Prognose, die zur Beendigung des Projekts führte.

Von der Mikrobiologie in die Kunststoffforschung (seit den 1970er Jahren)

Obwohl *Grace und Co.* die Entwicklung von PHB nicht weiterverfolgte, Baptist und Werber das kommerzielle Potential als sehr gering einschätzten und sich bis Mitte der 1970er Jahre auch kein anderes Chemieunternehmen mehr für den Stoff interessierte, trug das Projekt dennoch dazu bei, dass sich die Objektidentität von PHB allmählich veränderte. War die Substanz zuvor lediglich in der Mikrobiologie als Energiespeicher für Bakterien bekannt, transformierten Baptist und Werber PHB in der wissenschaftlichen Wahrnehmung erstmals in einen potentiellen thermoplastischen Kunststoff. So führten ihre Patente und die Veröffentlichungen ihrer Forschungsergebnisse in zwei bedeutenden Fachzeitschriften der chemischen Industrie dazu, dass PHB in der Kunststoffforschung überhaupt bekannt wurde (Lenz und Marchessault 2005: 5). Es entwickelte sich jetzt auch unter Polymerforschern eine Faszination für die kuriose Substanz und man diskutierte dessen potentielle industrielle Herstellung. Ein Pionier der universitären PHB-Forschung, Robert Marchessault, erinnert sich an diese Zeit „als polymer researchers both in industry and academia frequently discussed this unusual material and its eventual major production“ (Marchessault 2009: 358).

Mit dem Schritt über die Disziplingrenzen nahm die anwendungsorientierte Forschung zu. Nicht mehr nur der Nutzen von PHB für den Bakterienorganismus wurde nun erforscht, sondern zunehmend auch deren Nutzen für den Menschen. Dieser Wandel zeigt sich nicht zuletzt in veränderten Klassifikationen. Während ein Forschungsüberblick von 1973 noch ausschließlich auf die Rolle von PHB als „energy reserve polymer“ (Dawes und Senior 1973) eingeht, beinhaltete der Nachfolgebericht Anfang der 1990er Jahre einen Abschnitt zu dessen ‚industrieller Nutzung‘ (Anderson und Dawes 1990). Mikrobielle Polyester wurden zwischen den 1970er und 1980er

Jahren nicht mehr nur als natürliche Energiespeicher für Bakterien wahrgenommen, sondern galten zunehmend als „industrial products of natural origin“ (Dawes 1990: 3). Im Fokus stand die Frage nach der „commercial exploitation“ (Anderson und Dawes 1990: 451). Baptist und Werbers erstes industrielles Forschungsprojekt zu PHB Anfang der 1960er Jahre war die Initialzündung für diesen allmählichen Wandel der Objektidentität von PHB.

Anlass zur Hoffnung darauf, dass mikrobielle Polyester irgendwann tatsächlich industriell hergestellt werden würden, gab Mitte der 1970er Jahre auch eine neue wissenschaftliche Entdeckung. Bis dahin war in der Wissenschaft nur PHB bekannt. Man wusste jedoch nicht, dass es sich bei PHB lediglich um *einen* Vertreter einer viel größeren Familie von Polymeren mit unterschiedlichen Eigenschaften handelt. Wissenschaftler des *Northern Regional Research Laboratory* des amerikanischen Landwirtschaftsministeriums meldeten im Jahr 1974, dass sie im Klärschlamm weitere mikrobielle Polyester entdeckt hätten, die eine andere chemische Zusammensetzung aufwiesen als PHB (Wallen und Rohwedder 1974).

PHB als vielversprechender Kandidat der industriellen Biotechnologie (1970er-1980er Jahre)

Die nächste Neubewertung erfuhr PHB Mitte der 1970er Jahre als der britische Chemiekonzern *Imperial Chemical Industries* (ICI) die Forschung an dem Polymer aufnahm. Wie bei *Grace and Co.*, ein Jahrzehnt zuvor, war auch bei *ICI* abermals ein Biochemiker dafür verantwortlich, dass PHB als Innovationsobjekt von einem kunststoffproduzierenden Unternehmen in Erwägung gezogen wurde. Ebenso wie Baptist war der Biochemiker Peter Senior mit PHB durch seine vorherige akademische Tätigkeit als Doktorand im Labor des Biochemikers und PHB-Forschers Edwin Dawes vertraut. Anfang der 1970er Jahre wurde Senior bei Dawes über die Bedeutung von PHB für den Bakterienmetabolismus promoviert (Senior 1972). Später, als Biochemiker der *Agricultural Division* bei *ICI*, konnte er sein Wissen um den Stoff in die Kunststoffentwicklung einbringen. Im Gegensatz zu den Verantwortlichen bei *Grace and Co.*, die in den 1960er Jahren kaum kommerzielles Potential in PHB sahen, entschied sich das Management von *ICI* allerdings dazu, den Stoff zu einem kommerziellen Produkt weiterzuentwickeln. Was hatte sich verändert?

Wie das letzte Kapitel gezeigt hat, waren vor allem neue Erwartungen an nachwachsende Rohstoffe für die Wahrnehmung von biobasierten Kunststoffen als Innovationsobjekte verantwortlich. *Erstens* war spätestens mit der Ölpreiskrise die Frage nach der zukünftigen Rohstoffgrundlage

aufgekommen und die Wettbewerbsfähigkeit fossil-basierter Kunststoffe erschien in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre als unsicher. Mit dem brüchig gewordenen Narrativ einer immerwährenden Versorgung mit günstigem Erdöl, investierten Chemieunternehmen in Chemikalien und Kunststoffe aus alternativen Rohstoffen. Die Prognose steigender Ölpreise Mitte der 1970er Jahre war auch bei *Imperial Chemical Industries* der initiale Auslöser dafür, dass sich das Unternehmen seit 1976 mit PHB beschäftigte. *ICI* war „motivated by the prediction that oil prices would be in excess of 100\$ per barrel in the 1980s“ (Byrom 1990: 113), berichtete ein Mitarbeiter später über die Entscheidungsgrundlage des Unternehmens. Der Chemiekonzern, der seit den 1930er Jahren zu den Pionieren der Kunststoffentwicklung zählte und an der Erfindung der bedeutendsten Massenkunststoffe beteiligt war, erhoffte sich zu diesem Zeitpunkt, dass ein biobasierter Kunststoff gegen den prognostizierten Ölpreisanstieg ‚relativ immun‘ (ebd.) sein würde. Die hohen Ölpreisprognosen boten Senior und seinem Team ein anschlussfähiges Narrativ, um die Unternehmensführung von *ICI* vom Potential des Stoffs zu überzeugen (Winton und Hoffmann 1985: 55f.). „It was entirely appropriate that a company with a large business in plastics would start to investigate the potential of this polymer“ (Byrom 1990: 113), rechtfertigte ein *ICI*-Mitarbeiter später die Entscheidung des Unternehmens. Angesichts der Ölpreisprognosen hatten die Wissenschaftler zu Beginn des Projekts die Hoffnung, mit PHB möglicherweise einen konventionellen Massenkunststoff ersetzen zu können (Senior 1984: 269). Im Gegensatz dazu stand die biologische Abbaubarkeit des Stoffes am Anfang bei *ICI* nicht im Fokus der Aufmerksamkeit.

Für *Imperial Chemical Industries* war PHB also zunächst eine Versicherung gegen den steigenden Ölpreis. Außerdem wuchsen in der Chemieindustrie seit den 1970er Jahren auch die Hoffnungen, mit der industriellen Biotechnologie neue Wachstumspotentiale erschließen zu können. So erhoffte sich *ICI* mit PHB vor allem auch, einen *erfolgreichen* Einstieg in die industrielle Biotechnologie zu finden. Die *Agricultural Division* des Unternehmens hatte bereits seit den späten 1960er Jahren ein erstes biotechnologisches Projekt zur Herstellung von Einzellereiweiß (SCP) aus Erdöl vorangetrieben, das zu diesem Zeitpunkt als Hoffnung auf eine Ernährungsrevolution galt. Als sich mit dem Anstieg des Ölpreises seit 1973 allerdings die ökonomischen Realitäten veränderten, konnte Einzellereiweiß den zuvor antizipierten Preisvorteil gegenüber pflanzlichen Eiweißquellen nicht mehr geltend machen. Die großen Hoffnungen der Industrie auf den Erfolg von Einzellereiweiß realisierten sich nicht (Sherwood 1984).

Trotz dieses ersten Rückschlags sah die Forschungsabteilung der *Agricultural Division* weiterhin Potential in der industriellen Biotechnologie. Als leitender Wissenschaftler der biotechnologischen Projekte bei *ICI* bekräftigte Peter Senior die Erwartungen des Unternehmens an die Biotechnologie und wies darauf hin, dass man nun bereits an neuen biotechnologischen Projekten arbeiten würde. Damit meinte er auch das PHB-Projekt:

„We see SCP technology as the beginning of ‘Big Biology’ within ICI. The multidisciplinary team assembled is now working on other ventures, and we believe that the mixed team of scientists and technologists, united by the SCP project, will be the key to success in future biotechnologies. (...) We believe we have got over the worst of ‘easy biotechnology’ and are now going to tackle the ‘advanced course’“ (Senior und Windass 1980: 210).

Obwohl der Erdölpreis in den 1980er Jahren nicht wie prognostiziert auf 100 Dollar anstieg, sondern im Gegensatz dazu wieder abfiel, trugen diese Erwartungen an das Potential der industriellen Biotechnologie das PHB-Projekt weiter. Im Kontext des Zukunftsdiskurses um die Möglichkeiten der Biotechnologie gewann PHB für *ICI* jetzt die Identität eines „fascinating example of what biotechnology may be able to do for us and what we have to do to succeed“ (P. King 1982: 8).

Dabei muss *ICIs* PHB-Projekt auch als eine Art *spin-off* zum Einzellereiweiß-Projekt gesehen werden. Die Erwartungen an biobasierte Kunststoffe stießen bei *ICI* auf materielle und personelle Vorbedingungen, die bereits zuvor durch die Investition in Einzellereiweiß geschaffen worden waren. Einerseits hatte *ICI* bereits über 150 Millionen Dollar für Forschung und Entwicklung an SCP und den Bau großer Fermentationsanlagen investiert, deren Zukunft mit dem scheiternden SCP-Projekt Anfang der 1980er Jahre ungewiss schien (Sherwood 1984: 608). Andererseits existierte um Peter Senior ein Forscherteam aus Chemie- und Biowissenschaftlern, die sowohl Erfahrung in der Fermentation gesammelt hatten und gleichzeitig aktuelles Wissen über Bakterien und vielversprechende biotechnologische Produkte in den Chemiekonzern einbringen konnten.

Zudem gelang Senior und seinem Team Anfang der 1980er Jahre ein technologischer Durchbruch (Winton und Hoffmann 1985). Während pures PHB ein relativ brüchiges Polymer ist und sich daher für viele kommerzielle Kunststoffanwendungen nicht eignet, war es den Wissenschaftlern durch die Veränderung des Fermentationssubstrats gelungen, die Bakterien dazu zu bringen, verschiedene Copolymere¹⁰ von Polyhydroxybuttersäure und Polyhydroxyvaleriansäure (PHV) zu

¹⁰ Bei Copolymeren handelt es sich um Polymere, die mindestens aus zwei verschiedenen Monomeren zusammengesetzt sind.

produzieren. Die physische Veränderung von *PHB* zum Copolymer *PHBV* trug dazu bei, dass das wissenschaftliche und industrielle Interesse an mikrobiellen Polyestern deutlich anstieg (Madison und Huisman 1999: 37). *ICI*s wissenschaftlicher Durchbruch machte Hoffnung darauf, dass nun mikrobielle Kunststoffe mit unterschiedlichen Flexibilitätsgraden hergestellt werden konnten, sodass sich deren potentieller kommerzieller Anwendungsbereich ausweiten würde.

Anfang der 1980er Jahre gingen die Wissenschaftler schließlich mit der Nachricht an die Presse, dass sie an der Entwicklung dieses neuen ‚bakteriellen Kunststoffs‘ arbeiten würden, der nicht mit dem klassischen Verfahren der chemischen Synthese, sondern in großen Fermentationsanlagen produziert würde (Fishlock 1982: 9; Sherwood 1983: 388). Damit weckten sie die Hoffnungen auf eine vollkommen neue Art und Weise der Kunststoffherstellung, die sich natürliche Prozesse zu Nutze machen würde, um industrielle Produkte herzustellen (Feder 1985: 2).

PHB als Wette auf die Zukunft auf der Suche nach einer Marktnische in der Gegenwart (1980er Jahre)

Durch die Erfahrung mit Einzellereiweiß war den *ICI*-Forschern jedoch auch bewusst, dass biotechnologische Projekte auf äußerst unsicherem Boden standen. Trotz der Überzeugung, dass „Big Biology“ Potential für die Zukunft besäße, waren ihre Erwartungen an die industrielle Biotechnologie daher keinesfalls naiv, sondern durchaus ambivalent. So warnte Senior – gegen die in den 1970er Jahren aufgekommene Euphorie – auch vor einer Überschätzung der Biotechnologie:

„The industrial application of biotechnology in pursuit of profits is costly, time consuming and subject to most, if not more than the usual constraints of operation within the commercial world. (...) I believe that biotechnology is in danger of overselling its potential, and industry, funding agencies and Government research institutions should apply strict commercial criteria to their decision making in this field“ (Senior und Windass 1980: 205).

Man war sich bei *ICI* bewusst, dass biotechnologische Projekte auf einer ‚schmalen wissenschaftlichen Grundlage‘ (P. King 1982: 8) gebaut und ökonomische Erfolgsaussichten unklar waren. Neben technologischen Unsicherheiten trug der fallende Erdölpreis in den 1980er Jahren dazu bei, dass weitestgehend unklar war, wann und wie schnell *PHBV* konkurrenzfähig sein würde. „We don’t really know the potential yet“ (Fishlock 1982: 9), gab das Unternehmen in der *Financial Times* zu. Vor allem war zu diesem Zeitpunkt nicht klar, wie man den Stoff eigentlich im Kunststoffmarkt positionieren sollte, also welche Kunststoffanwendungen man dabei ins Auge

fassen sollte und wie man den Kunststoff am besten qualifizieren sollte. PHBV war für *ICI* weniger die Aussicht auf schnelle Profite als vielmehr eine Wette auf die Zukunft.

Da PHBV deutlich teurer war als etablierte petrochemische Kunststoffe, war das Unternehmen auf der Suche nach einer Marktnische, in der sich der Stoff entwickeln und man die Zeit überbrücken könnte, bis sich das Preisverhältnissen zwischen Kunststoffen aus fossilen und Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen umkehren würde. *ICI* stand also vor dem Problem, das PHBV-Projekt bis zu diesem unbestimmbaren Punkt in der Zukunft am Leben zu halten – „to keep the show on the road“ (Senior 1984: 270), wie es Peter Senior ausdrückte. Während das Entsorgungsproblem zunächst nicht der ausschlaggebende Faktor für die Entwicklung von PHB war, bot die seit den 1980er Jahren weiter zunehmende ökologische Kritik an Kunststoffabfällen *Imperial Chemical Industries* die Möglichkeit, den Kunststoff neu zu qualifizieren. „Oil prices did not reach 100\$ per barrel, quite the reverse occurred, and our emphasis shifted to the biodegradability and biocompatibility of the polymer“ (Byrom 1990: 113), berichtete ein Mitarbeiter über den Wandel der angestrebten Positionierung des neuen Polymers im Kunststoffmarkt. Anstatt PHBV wie einst geplant als Massenkunststoff in Konkurrenz zu konventionellem Polypropylen zu bringen, qualifizierte *ICI* das Material jetzt als „option in the solution to the problem of post-consumer waste“ (ebd.: 117). Nachdem der Ölpreis in den 1980er Jahren gefallen war, gab *ICI* dem Polymer also die Identität eines biologisch abbaubaren Kunststoffs.

PHB als Gegenstand molekularbiologischer Träume (seit Mitte der 1980er Jahre)

Während die Erwartungen der *ICI*-Forscher an den ökonomischen Erfolg von PHBV als ambivalent beschrieben werden müssen, trug in den 1980er Jahren eine neue Akteursgruppe dazu bei, dass sich die Hoffnung auf den ökonomischen Erfolg mikrobieller Kunststoffe nicht abschwächte. Wurde in der Forschung zunächst mit klassischen Methoden – also z. B. der Veränderung der Fermentationssubstrate – an der Optimierung von biotechnologischen Produktionsprozessen gearbeitet, begannen Mitte der 1980er Jahre Wissenschaftler in der jungen molekularbiologischen Disziplin des *Biopolymer Engineering* damit, die zur PHA-Synthese notwendigen Gene zu charakterisieren, zu klonen und in andere Organismen zu übertragen (Peoples und Sinskey 1989). Mit der Gentechnik eröffneten sich ganz neue Möglichkeiten zur Herstellung von mikrobiellen Polyestern. Während natürliche PHA-Bakterien eher ineffiziente Produzenten sind und ihrer Optimierung durch die klassischen Methoden der

Fermentationstechnologie gewisse Grenzen gesetzt sind, bestand die Hoffnung der Wissenschaftler, durch Gen-Rekombination gentechnisch modifizierte Bakterien zu erschaffen, die PHAs wesentlich schneller, in größeren Mengen und zu geringeren Kosten herstellen könnten (Pool 1989: 1188).

Die Forschung der Molekularbiologen ließ einerseits darauf hoffen, dass mikrobielle Polyester irgendwann preislich mit fossilen Kunststoffen konkurrieren könnten (Williams und Peoples 1996: 40f.). Andererseits versprach die gentechnologische Modifikation der Bakterien die Möglichkeit, maßgeschneiderte Kunststoffe herzustellen, die mit der klassischen chemischen Synthese so nicht produziert werden konnten. Das Versprechen der gentechnologisch modifizierten PHA-Bakterien lag in der vollkommenen Kontrollierbarkeit der Kunststoffproduktion. ChoKyun Rha, eine Molekularbiologin am *Massachusetts Institute of Technology*, brachte den ingenieurmäßigen Traum mikrobieller Kunststoffproduktion in der Fachzeitschrift *Science* auf den Punkt:

„We cannot produce such complicated molecules with any specificity using normal chemistry (...). The true advantage of biopolymer engineering is that we can specify such complicated design. Biological system can make it exactly so. (..) With bacteria, you can ‘tailor things at the molecular level’, making polymers of a purity and specificity that are impossible with normal chemical means“ (Pool 1989: 1188).

In den späten 1980er Jahren erregte das PHB-Forschungsprojekt von Chris Somerville von der *Michigan State University* Aufmerksamkeit (Beale 1989; Pool 1989). Anstatt die Gene von PHA-produzierenden Mikroorganismen lediglich in effizientere Bakterienstämme zu übertragen, träumte Somerville von plastikproduzierenden Pflanzen. Die Forschung des Molekularbiologen sollte es möglich machen, Mais oder Kartoffeln gentechnologisch so zu verändern, dass sie anstelle von Stärke oder Pflanzenöl PHA-Kunststoffe produzieren würden, die man dann gewissermaßen direkt vom Feld ernten könnte (siehe Abb. 8). Der Weg von der Pflanze zum Plastik über den Umweg des Bakterienorganismus würde so abgekürzt und dementsprechend die Produktionskosten deutlich gesenkt werden. In den Zukunftsvisionen der Molekularbiologen sollte die Produktion von PHAs also vollkommen ohne die Hilfe der Bakterien auskommen. Ihre Identität als mikrobielle Polyester wäre damit obsolet.

Abb. 8: Karikatur in Science, 1989



Zwar sah Somerville große technische Hürden bis Kartoffelpflanzen tatsächlich PHA produzieren könnten, dennoch gab er sich optimistisch: „The horizon on this project is around 15 years, but I believe we can do it“ (Somerville, zit in: Beale 1989: 3). Dabei griff er zur Legitimation der genetischen Modifikation, die gerade unter Umweltschützern in den 1980er Jahren kritisch gesehen wurde, auf die Narrative des ökologischen Diskurses zurück und verknüpfte dabei die Ressourcenfrage mit der Entsorgungsproblematik. Die von ihm imaginierten Kunststoffe der Zukunft würden so gewissermaßen zwei Probleme auf einmal regulieren können:

„I know it sounds weird having farmers grow plastic, but I see most of this genetic engineering work on plants as a major step forward in protecting the environment. The beaches of the world are awash with plastic now. (...) Environmental groups are very concerned about genetic engineering, but I believe that, in fact, we are their best friends (...). Above all, I think we have to go back to a reusable resource-based economy“ (ebd.).

Die ersten wissenschaftlichen Erfolge von *ICI* und die Zukunftsvisionen der Molekularbiologen mobilisierten seit Ende der 1980er Jahre einige Unternehmen und staatliche Institutionen in den USA, Europa und Japan dazu, in die Entwicklung von PHA zu investieren. In Japan stellte das *Ministerium für Internationalen Handel und Industrie* die hohe Summe von 45 Millionen Dollar für die Entwicklung mikrobieller Polymere bereit. Und in Europa forcierte die Vision einer europäischen Biogesellschaft und die Hoffnung auf den Abbau landwirtschaftlicher Überschüsse

die Entwicklung mikrobieller Kunststoffe im Rahmen der Forschungsförderungsprogramme ECLAIR, AIR und FAIR. Als eines der ersten Projekte zur Verbindung von Landwirtschaft und Industrie durch Biotechnologie unterstützte die *Europäische Gemeinschaft* den ICI-Nachfolger *Zeneca* bei der Kommerzialisierung von PHBV mit 2,3 Millionen Dollar. Neben der Entwicklung anderer biobasierter Poly- und Monomeren finanzierte die Gemeinschaft weitere PHA-Projekte (US Congress 1993: 53, 59). Auf Unternehmensseite arbeiteten in den 1980er Jahren in Europa u. a. *Chemie Linz* und *BASF*, in den USA *Metabolix* und der Konsumgüterhersteller *Procter&Gamble*, und in Japan die Chemiekonzerne *Kaneka* und *Mitsubishi Chemical* an der Entwicklung und Kommerzialisierung von PHA (Chen 2010: 123).¹¹

Während mikrobielle Polyester also einst nicht mehr als eine wissenschaftliche Kuriosität der Mikrobiologie waren, und in den 1960er Jahren noch kaum kommerzielles Potential für solche Stoffe gesehen wurde, entwickelten sie sich im Kontext der Erwartungen an steigende Ölpreise, das ökonomische Potential biobasierter Herstellungsprozesse und der Suche nach neuen Entsorgungsmethoden für Kunststoffe zu Innovationsobjekten der industriellen Kunststoffentwicklung. Dabei handelte es sich bei PHB allerdings nicht um den einzigen biobasierten Kunststoff, der in den 1980er Jahren in den Fokus der Industrie rückte. Im folgenden Kapitel werde ich in ähnlicher Weise zeigen, wie eine zweite Polymergruppe, Polymilchsäure (PLA), ihren Status als neues Innovationsobjekt gewann.

5.2. Polylactide: Die Wiederentdeckung eines ‚schlafenden Riesenens‘

Neben Polyhydroxybuttersäure rückte mit Polylactiden (PLA) seit Mitte der 1980er Jahre eine zweite Gruppe biobasierter Kunststoffe in den Aufmerksamkeitsradius der Industrie. Ebenso wie bei PHB handelt es sich bei PLA um Polyester. Im Gegensatz zu PHB werden Polylactide jedoch nicht im Körper von Bakterien synthetisiert. Vielmehr werden sie durch klassische Verfahren der Polymerisation von Menschenhand hergestellt. Dabei werden die Monomere der Milchsäure, die biotechnologisch durch Fermentation von Zucker oder Stärke produziert wird, zu Polymilchsäure synthetisiert. Ähnlich wie im Fall von PHB waren allerdings auch Kunststoffe aus Milchsäure in den 1980er Jahren keine wissenschaftliche Neuentdeckung. Milchsäure ist eine der ersten biotechnologisch produzierten Chemikalien überhaupt. Sie wird bereits seit dem späten 19.

¹¹ Bis heute hat die PHA-Herstellung allerdings kein großes Produktionsvolumen erreicht. Der Branchenverband schätzt den Anteil von PHA an der gesamten Biokunststoffproduktion heute auf 1,4 Prozent (European Bioplastics 2019a).

Jahrhundert industriell hergestellt und als Zusatzstoff in der Lebensmittelindustrie in Backwaren, Süßwaren oder Limonaden verwendet. Auch Polylactide haben wissenschaftshistorisch betrachtet bereits eine lange Geschichte. Schon 1845 stellte der französische Chemiker Theophile-Joule Pelouz Polymilchsäure durch Kondensation von Milchsäure her (Benninga 1990: 16). In der Kunststoffindustrie der Nachkriegszeit spielte der Stoff allerdings keine Rolle. Wie also entwickelte sich PLA zu einem verheißungsvollen Innovationsobjekt?

Milchsäure in der frühen Kunststoffindustrie (1930er bis 1950er Jahre)

Wie im Fall von PHB nimmt auch die Biographie von PLA ihren Ausgang in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Wie ich in Kapitel 4 der Arbeit beschrieben hatte, versuchten landwirtschaftliche Interessenvertreter in den USA der 1930er und 1940er Jahre, in der Chemieindustrie einen Abnehmer für landwirtschaftliche Produkte zu finden. Mit dem chemurgischen Ziel, Landwirtschaft und Chemieindustrie stärker miteinander zu verbinden, arbeiteten Wissenschaftler des *Eastern Regional Research Laboratory* des amerikanischen Landwirtschaftsministeriums in dieser Zeit an der Entwicklung von Polymeren aus Milchsäure. Vor allem in Kunststoffharzen oder als Weichmacher sahen die Forscher Absatzmöglichkeiten für Milchsäure. Es war ihnen außerdem gelungen, einen Gummi aus Milchsäure herzustellen, sogenanntes *Lactoprene*, dem zu dieser Zeit ebenfalls gute Marktchancen vorausgesagt wurden (Benninga 1990: 354). Insbesondere die amerikanische Zuckerindustrie hegte in den 1940er Jahren großes Interesse an der Entwicklung von Kunststoffen aus Milchsäure. Studien, die im Auftrag der Zuckerindustrie durchgeführt wurden, prognostizierten noch Ende der 1940er Jahre ein großes Wachstumspotential für Milchsäure in der Produktion synthetischer Polymere (Long 1949: 2). Allerdings wurden pflanzliche Rohstoffe seit den 1950er Jahren zunehmend aus den Produktionsprozessen der Chemieindustrie verdrängt. Die Hoffnungen landwirtschaftlicher Interessenvertreter auf den Einsatz von Milchsäure in der Kunststoffherstellung erfüllten sich daher nicht (Benninga 1990: 251).

Abseits der staatlich geförderten Labore forschten auch Wissenschaftler in den Laboren der Chemieindustrie in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts an der Entwicklung von Kunststoffen aus Milchsäure. Wallace Carothers, ein Pionier der Kunststoffentwicklung, arbeitete in den 1930er Jahren beim Chemieunternehmen *DuPont* an der Entwicklung thermoplastischer Polymere. Dabei konzentrierte er sich zunächst auf die Herstellung von Polyestern. Im Rahmen seiner Forschung

entwickelte Carothers 1932 erstmals eine Technik zur Herstellung von PLA in niedermolekularer Form (Carothers, Dorough und van Natta 1932). Auch das erste Patent für die Polymerisation von hochmolekularem PLA und ein Patent für die Herstellung von PLA zur Produktion von Fasern und Folien geht auf Arbeiten bei *DuPont* Mitte der 1950er Jahre zurück (Lowe 1954; A. Schneider 1955). Allerdings galt, wie ich in Kapitel 3 beschrieben habe, zu dieser Zeit *Stabilität* als oberstes Ziel der Kunststoffentwicklung. Polylactide sind im Gegensatz dazu jedoch anfällig für hydrolytischen Abbau, d. h. die Esterverbindungen werden durch den Angriff von Wasser aufgespalten, was den Kunststoff instabil macht. Während diese Eigenschaft für die Herstellung biologisch abbaubarer Kunststoffe von Vorteil ist, ließ sich in den 1950er Jahren mit instabilen Kunststoffen kein Markt erobern. Es ist daher anzunehmen, dass die Entwicklung von PLA aus diesem Grund nicht weiterverfolgt wurde (Domenek und Ducruet 2011: 183; Lunt 1998: 145). PLA war zwar in den 1950er Jahren wissenschaftlich bekannt und Prozesse zu seiner Herstellung bereits patentiert. Zunächst ging es für Polylactide auf dem Weg zum Innovationsobjekt jedoch nicht weiter.

PLA als Spezialkunststoff in der Medizintechnik (1960er bis 1970er Jahre)

Eine erste Neubewertung von PLA fand statt als das *Medical Biomechanical Research Laboratory Walter Reed* der US-amerikanischen Armee in den 1960er Jahren die Forschung an dem Polymer aufnahm. Während die Instabilität von PLA zu diesem Zeitpunkt für die Produktion der meisten Kunststoffprodukte noch als Nachteil wahrgenommen wurde, erkannten die Forscher den Wert von PLA für die Medizintechnik. Ähnlich wie im Fall von PHB fanden die Forscher heraus, dass PLA *biokompatibel* ist, also im Kontakt mit lebenden Organismen keine Abstoßungsreaktionen auslöst, und sich daher als Material für die Herstellung medizintechnischer Produkte eignet. Während Polylactide lange Zeit aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegenüber Hitze und Wasser als „useless compounds“ (Vert, Schwarch und Coudane 1995: 787) galten, beschrieben die Forscher PLA als „highly interesting product“ und „very suitable material for sutures, vascular grafts, and other surgical implants“ (Kulkarni et al. 1966: o.S.). In den frühen 1970er Jahren genehmigte die *Food and Drug Administration* in den USA PLA für den Kontakt mit dem menschlichen Körper. Jetzt konnten Polylactide als Material in der Medizintechnik eingesetzt werden.

Da PLA in den 1970er Jahren als Medizinprodukt wahrgenommen wurde, konzentrierte sich die Forschung dementsprechend auf die Anwendung von PLA im menschlichen Körper (Cutright und

Hunsuck 1972; Jackanicz et al. 1973; Kronenthal 1975; Racey et al. 1978). 1972 brachte das Unternehmen *Ethicon* Fasern für chirurgische Fäden auf den Markt, die aus Copolymeren von Milchsäure und Glycolsäure bestand (Lunt 1998: 145). Seitdem wurde PLA für medizintechnische Anwendungen genutzt und von Unternehmen wie *Dupont* oder *Purac* in geringen Mengen produziert (Keeler 1991: 54; Suzuki und Ikada 2010). Damit hatte der Stoff zwar bereits den Sprung aus dem Labor in den Markt geschafft. Allerdings galt PLA als ein Kunststoff, der zu sehr hohen Preisen in kleinen Spezialmärkten gehandelt wurde. Die Preise für PLA waren um ein vielfaches höher als die Preise für konventionelle Massenkunststoffe wie PE, PVC oder PS (Keeler 1991: 54). In der Kunststoffindustrie spielte das Material dementsprechend keine bedeutende Rolle. Es wurde nicht als potentieller Massenkunststoff erkannt.

PLA als ‚schlafender Riese‘ (1970er-1980er Jahre)

Für den nächsten Wandel der Objektidentität von PLA waren Richard Sinclair und Edward Lipinsky, zwei Chemiker des Auftragsforschungsinstituts *Battelle* in Columbus, verantwortlich. Die beiden Wissenschaftler forschten spätestens seit den 1970er Jahren an der Herstellung von Chemikalien und Treibstoffen aus pflanzlichen Rohstoffen. Beide gehörten zu den frühen Befürwortern von Biomasse im Diskurs über die zukünftige Rohstoffbasis der Chemieindustrie in den 1970er Jahren (Sinclair et al. 1974). Während sich Lipinsky im Rahmen des *Biomass for Fuel*-Programms der amerikanischen Regierung allgemein für den Übergang zu einer biobasierten Chemieindustrie einsetzte (Lipinsky 1981; 1978), entwickelte und patentierte sein Kollege Sinclair Herstellungsverfahren für Kunststoffe aus Milchsäure. Dabei zielte Sinclairs Forschung zunächst auf eine Anwendung von PLA in landwirtschaftlich verwendeten Kunststoffprodukten ab, in denen die biologische Abbaubarkeit des Polymers zur wertgebenden Eigenschaft werden sollte. PLA sollte in Sinclairs Überlegungen z. B. als Trägermaterial für die Einbringung von Pestiziden in den Boden dienen (Sinclair 1973). Im Gegensatz zu den meisten PLA-Forschern in den 1970er Jahren sah Sinclair in PLA nicht mehr nur einen medizinischen *Spezialkunststoff*, sondern imaginierte größere Märkte für das Polymer. Als wertvolle Eigenschaften beschrieb Sinclair nun, dass der Kunststoff auf der einen Seite ‚nicht mehr von petrochemischen Rohstoffen abhängig wäre‘ und auf der anderen Seite wieder in ‚harmlose Substanzen abgebaut würde‘ (Sinclair 1977: 1-3). Damit verschränkte er in seiner Qualifizierung von PLA die Ressourcen- und Abfallproblematik, die dem Stoff nun sein neues ökologisches Wertversprechen verliehen.

Ab den frühen 1980er Jahren leisteten beide Chemiker in ihren Vorträgen und Publikationen ‚Erwartungsarbeit‘ (van Lente und Rip 1998) für Milchsäure und Polylactide. Zu diesem Zeitpunkt hatte sich in den USA die Produktion biobasierter Chemikalien auf die Herstellung von Ethanol fokussiert. Die Einführung von Ethanol-Kraftstoffen wurde in den USA seit 1978 durch Steuererleichterung politisch gefördert (Solomon, Barnes und Halvorsen 2007: 418). Dementsprechend war das industrielle Interesse gelagert. Durch das Erzählen prospektiver Geschichten versuchten die beiden Forscher, die Aufmerksamkeit der Industrie auf andere biobasierte Chemikalien zu lenken. Milchsäure und PLA standen dabei an vorderster Stelle. Rückblickend sind Lipinskys und Sinclairs Publikationen aus den 1980er Jahren für die industrielle Wiederentdeckung von PLA relevant, weil sie der Industrie erstmals das bislang ungenutzte ökonomische Potential der Substanz vor Augen führten. Aus welchen Elementen setzte sich Sinclairs und Lipinskys prospektive Geschichte zusammen? Welche Bedeutung schrieben die Forscher PLA zu?

Erstens nahmen Lipinsky und Sinclair eine Reklassifizierung und Repositionierung von PLA vor. So beschrieben sie den Stoff nicht mehr als Medizinprodukt, sondern klassifizierten ihn als ‚umweltfreundlichen‘ Massenkunststoff. Dazu setzten sie PLA beispielsweise in Bezug zu konventionellen thermoplastischen Verpackungskunststoffen wie Polystyrol, Polyester und PVC und behaupteten, PLA könne deren physische Eigenschaften ‚replizieren‘ (Sinclair, zit in: Wehrenberg 1981: 65). Mit dieser neuen Klassifikation positionierten sie PLA, zumindest in der Imagination, in wesentlich größere Marktzusammenhänge, als dies bis zu diesem Zeitpunkt der Fall gewesen war. Gleichzeitig schufen sie mit Metaphern Vorstellungshorizonte. So beschrieben sie Milchsäure als einen ‚schlafenden Riesen‘ – eine Metapher, die das ungenutzte ökonomische Potential der Chemikalie verbildlichte und gleichzeitig den Aufruf implizierte, diesen ‚Riesen‘ aus seinem Schlaf zu wecken (Lipinsky und Sinclair 1986: 26).

Zweitens stellten die Forscher ökonomische und technische Vergleiche unterschiedlicher Biomasse-Strategien an, um Unternehmen bei der Entscheidung für die eine oder andere biobasierte Chemikalie zu unterstützen. Auf einem Workshop zur ‚Biomass Utilization‘ (Sheppard und Lipinsky 1983) entfaltete Lipinsky beispielsweise ein hierarchisches Panorama unterschiedlicher Innovationsstrategien im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe. Dabei betonte er die ökonomischen Vorteile der Milchsäureproduktion gegenüber der zu diesem Zeitpunkt

dominierenden Ethanolproduktion und zeigte Wege auf, wie mit Milchsäure neue, ‚große Märkte‘ entwickelt werden könnten:

„The mass balance aspects of lactic acid production are considerably more favorable than for the production of ethanol. (...) Lactic acid reduction from carbohydrates does not entail the loss of carbon dioxide, therefore, almost twice as much salable product per unit of weight of carbohydrate is produced. (...) Despite this considerable advantage of lactic acid technology over ethanol technology, very little interest has been shown in lactic acid via fermentation by the chemical industry. (...) The chemical structure of lactic acid would appear to be conducive to the development of large markets (...). This is an area worthy of R&D effort. (...) Those who chose to commercialize lactic acid can adopt either the strategy of direct substitution for petrochemicals now made from propylene (...) or they can attempt to displace polystyrene and polyvinyl chloride by simulating its properties via lactic acid copolymers“ (ebd.: 649).

Drittens konstruierten Sinclair und Lipinsky in ihrem Artikel *Is Lactic Acid a Commodity Chemical?* von 1986 unterschiedliche Zukunftsszenarien, in denen PLA an Wert gewinnen würde (Lipinsky und Sinclair 1986). Dabei zogen sie in ihren Szenarien die sich abzeichnenden sozialen, politischen und auch ökonomischen Entwicklungen in Erwägung, die einen zukünftigen Markterfolg von PLA begünstigen könnten. Erwartungen an sich verändernde Wertvorstellungen, Gesetze und globale Rohstoffmärkte spielten dabei eine zentrale Rolle. Mit Hilfe der unterschiedlichen Szenarien ordneten die beiden Forscher PLA in die Zukunftserzählungen um Ressourcen- und Abfallproblematik ein, die seit den 1970er Jahren den Diskurs um Kunststoffe prägten.

Beispielsweise malten sich Lipinsky und Sinclair in einem ersten Szenario eine Zukunft aus, in der ein ‚Kampf‘ herrschen würde zwischen unterschiedlichen Verpackungsmaterialien. Dieser Kampf würde sich in Zukunft nicht mehr nur auf der Grundlage der physischen Materialeigenschaften entscheiden. Vielmehr würde er aufgrund ökologischer Qualitäten gewonnen werden. Auch ohne Gesetzgebung sahen Lipinsky und Sinclair daher einen ‚natürlichen Wettbewerb‘ voraus, in dem ökologische Produktqualitäten eine entscheidende Rolle für den Erfolg eines Verpackungsmaterials spielen würden (ebd.: 31). In einem zweiten Szenario lag der Fokus auf der Rolle des Gesetzgebers. Die Verabschiedung von Umweltgesetzen, so die Erwartung der beiden Forscher, könnte in Zukunft die Nutzung von Kunststoffen in bestimmten Anwendungen einschränken. Lipinsky und Sinclair sahen politische Eingriffe beispielsweise in der Landwirtschaft voraus, wo in Zukunft möglicherweise nur noch biologisch abbaubare Kunststoffe verwendet werden dürften, um den Verbleib von Kunststoffen im Boden einzudämmen (ebd.). In einem dritten Szenario stand die Entwicklung der Rohstoffmärkte im Vordergrund. Der

Wettbewerb auf den internationalen Erdölmärkten könnte US-amerikanische Kunststoffproduzenten in Zukunft dazu zwingen, heimische pflanzliche Rohstoffe zur Kunststoffherstellung zu verwenden. Niedrige Preise für Agrarprodukte und die Notwendigkeit neuer Absatzwege für Mais und Sorghum würden sich ebenfalls förderlich erweisen. Gleichzeitig würde die Umweltverschmutzung durch nicht-abbaubare Kunststoffe die Nachfrage nach PLA steigern (ebd.). Solche Zukunftsszenarien stimmten Lipinsky und Sinclair optimistisch, dass mittelfristig große Absatzmärkte für PLA als biologisch abbaubarer Massenkunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen entstehen könnten.

Um die Marktchancen von Milchsäure und PLA noch deutlicher zu machen, produzierten Sinclair und Lipinsky aufbauend auf diesen unterschiedlichen Zukunftsszenarien viertens konkrete Markt- und Preisprognosen. Für medizinische Prothesen aus PLA sahen sie einen kleinen Markt voraus, mit einem Umsatz von 10 Millionen Dollar pro Jahr. Ein größerer Markt, mit einem Umsatz von 100 Millionen Dollar könnte sich für landwirtschaftliche Produkte entwickeln. In mittelfristiger Perspektive könne sich außerdem ein noch größerer Markt für PLA als Massenkunststoff im Bereich von Verpackungen und Konsumgütern etablieren. 200 Millionen Pfund PLA könnte, so Lipinsky und Sinclair, auf diesem Markt pro Jahr verkauft werden. Bei gleichbleibend günstigen Preisen für Milchsäure müssten Unternehmen bei einer solchen Produktionsmenge mit einem Verkaufspreis von 1,22-1,66 Dollar pro Kilo PLA rechnen. Für Forschung, Entwicklung und Markteinführung veranschlagten Lipinsky und Sinclair fünf bis zehn Jahre bis PLA als Massenkunststoff erhältlich sein würde (ebd.: 31f.).

Fünftens und schließlich beinhaltete ihre prospektive Geschichte auch eine Aufforderung zum Handeln. Wie der Wissenschafts- und Technikforscher Harro van Lente gezeigt hat, zeichnen sich prospektive Geschichte um technische Artefakte häufig dadurch aus, dass sie Handlungsskripte entwerfen, in denen Objekten und Menschen bestimmte Rollen im Innovationsprozess zugewiesen werden. Prospektive Geschichte helfen bei der Koordination von Akteuren in Innovationsprozessen, indem sie beispielsweise definieren, welche technologischen Hürden überwunden werden müssen (van Lente 1993). In ähnlicher Weise zeichneten Sinclair und Lipinsky nicht nur das Bild einer möglichen Zukunft, sondern wendeten sich auch direkt an Mikrobiologen und Polymerforscher mit der Aufforderung, den ‚schlafenden Riesen‘ zu wecken (Lipinsky und Sinclair 1986: 32).

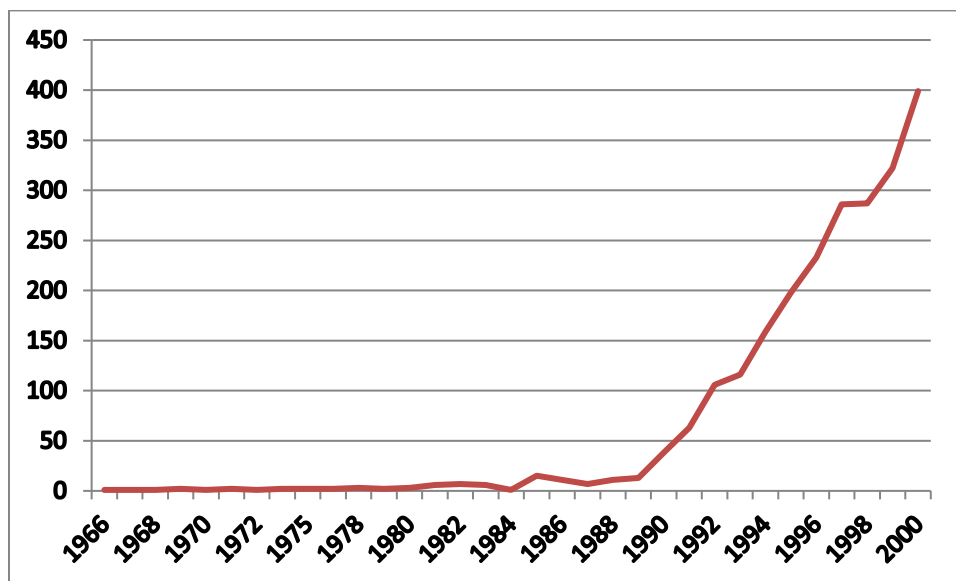
Dazu bestimmten sie die technischen Hindernisse, die einer Kommerzialisierung von PLA als Massenkunststoff bislang noch im Weg stünden. Insbesondere sahen Lipinsky und Sinclair die Notwendigkeit, Fermentationsprozesse zu verbessern, da Milchsäure bisher nicht in ausreichend reiner Form produziert werden könne. Dies sei eine „excellent area for the combined efforts of microbiologists, product separation technologists, and engineers“ (ebd.). Um große Märkte aufzubauen, sollten außerdem konkrete Kunststoffprodukte definiert werden, die aus PLA hergestellt werden könnten, und der Stoff damit spezifisch auf die Anforderungen von Anwendern hin optimiert werden. Als zukünftige PLA-Produkte stellten sich die Forscher biologisch abbaubare Verpackungen, Folien und Kapselmaterial vor (ebd.). In den 1980er Jahren erwarteten Sinclair und Lipinsky also, dass der Stoff vor allem aufgrund seiner biologischen Abbaubarkeit in Zukunft Verwendung finden könnte. Mit der Überwindung der technischen Hürden versprachen die Chemiker Aussicht auf ökonomischen Erfolg und adressierten dabei vor allem innovationsinteressierte Unternehmen mit der Frage: „Will the challenge of improving lactic acid production technology and developing downstream uses be accepted?“ (ebd.).

PLA als Innovationsobjekt der Agrarindustrie (Ende der 1980er Jahre)

Lipinsky und Sinclair hatten die Objektidentität von PLA, zumindest im Rahmen ihrer Zukunftserzählung, erstmals von einem *medizintechnischen Spezialmaterial* in einen *umweltfreundlichen Massenkunststoff* transformiert. Während sich die Industrie bis dahin kaum für PLA interessiert hatte, begannen Forschungsinstitute und Unternehmen ab den späten 1980er Jahren zunehmend an der Entwicklung von PLA zu arbeiten und damit die Vision von Lipinsky und Sinclair in die Realität umzusetzen. Treiber des Innovationsprozesses von PLA waren dabei *nicht* die etablierten Kunststoffhersteller, sondern amerikanische Agrarkonzerne wie *Cargill* und dessen Konkurrent *ConAgra*, die neue Absatzmärkte für landwirtschaftliche Produkte schaffen wollten. Unterstützt wurde die Entwicklung der PLA-Technologie in den USA auch durch staatliche Forschungsförderung. Am *Argonne National Laboratory* des US-Energieministeriums arbeiteten Wissenschaftler ab 1988 an der Entwicklung von PLA aus Kartoffelabfällen (Keeler 1991: 52). Das vom Bundestaat Michigan finanzierte *Michigan Biotechnology Institute* kooperierte mit *Cargill* bei der Entwicklung der PLA-Technologie (Narayan 1998). Später förderte auch die Europäische Gemeinschaft die Entwicklung von PLA im Rahmen der Forschungsförderungsprogramme AIR und FAIR (Europäische Kommission 1997).

Ein erster Durchbruch in der aufkommenden PLA-Entwicklung gelang dem amerikanischen Unternehmen *Cargill* Ende der 1980er Jahre. Hier forschte der Biochemiker Patrick Gruber seit 1988 an der Herstellung von PLA. Gruber entwickelte ein neues Produktionsverfahren für PLA, das die Herstellungskosten des Polymers drastisch senken würde. Damit schien es möglich, mit PLA tatsächlich konventionelle, petrochemische Kunststoffe im Bereich von Verpackungen und Einwegartikeln herausfordern zu können (Gruber et al. 1992). Der Aufstieg von PLA zu einem neuen Verheißungsobjekt der Polymerforschung seit Ende der 1980er Jahre wird besonders auch dann deutlich, wenn man den plötzlichen Anstieg der wissenschaftlichen Veröffentlichungen betrachtet. Während über PLA bis zu diesem Zeitpunkt nur in geringem Maße wissenschaftlich publiziert wurde, stieg die Anzahl der Veröffentlichungen angesichts der neuen Erwartungen an das kommerzielle Potential des Polymers seit Ende der 1980er Jahre kontinuierlich an (siehe Abb. 9).¹²

Abb. 9: Anzahl der Veröffentlichungen zu PLA im Web of Science



Anfang der 1990er Jahre gingen beide Agrarunternehmen, *Cargill* und *ConAgra*, erstmals mit der Nachricht an die Öffentlichkeit, an der Entwicklung von Polylactiden zu arbeiten. *ConAgra* kündigte gemeinsam mit dem Chemieunternehmen *DuPont*, das über die ersten PLA-Patente aus den 1950er Jahren verfügte, eine Investition von 20 Millionen Dollar in den Bau einer PLA-Produktionsanlage an (PR Newswire 1991). Kurze Zeit später veröffentlichte auch *Cargill* Pläne

¹² Die Grafik basiert auf einer Stichwortsuche im Web of Science nach den Begriffen „polylactide“ OR „poly(lactic acid)“ OR „polylactic acid“ zwischen 1900 und 2000.

zum Bau einer kommerziellen Produktionsanlage, mit der das Unternehmen schon bald zum größten PLA-Produzenten aufsteigen wollte (PR Newswire 1993). Damit schien es Anfang der 1990er Jahre so, als ob demnächst ein biologisch abbaubarer Kunststoff aus pflanzlichen Rohstoffen erhältlich sein würde, der mit konventionellen Massenkunststoffen in Konkurrenz treten würde.

Zwischen den 1950er und 1980er Jahren hatte sich also auch PLA von einem minderwertigen Stoff ohne Marktpotential, über ein teures Medizinprodukt, zu einem potentiellen neuen Massenkunststoff entwickelt, dem ökologische Qualität zugeschrieben wurde. Wie im Fall von PHB verlief die industrielle ‚Wiederentdeckung‘ von PLA in einem Prozess schrittweiser Neubewertung, in dem sich die Einschätzungen des Marktpotentials vor dem Hintergrund neuer Zukunftserzählungen veränderten. Dabei trugen sowohl die Erwartungen an das Potential nachwachsender Rohstoffe als auch das sich weiter zuspitzende Entsorgungsproblem von Kunststoffabfällen zur Genese des Wertversprechens von PLA und PHB bei. Am Übergang von den 1980er zu den 1990er Jahren schrieben Polymerforscher und Unternehmen beiden Polymeren das Potential zu, einen Beitrag zu einer umweltfreundlichen Kunststoffökonomie leisten zu können.

5.3. Zwischenfazit

Im vorangegangenen Kapitel habe ich die Frage untersucht, wie sich konkrete Polymere von wertlosen Substanzen zu verheißungsvollen Innovationsobjekten entwickelt haben. Dazu habe ich die Geschichte von PHB und PLA in Form von Objektbiographien rekonstruiert und dabei die zentralen Umbruchpunkte herausgearbeitet, in denen das Marktpotential der Stoffe neu bewertet wurde. Dadurch konnte ich zeigen, dass chemische Verbindungen, die bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wissenschaftlich beschrieben wurden, im Kontext der neuen Erwartungen an nachwachsende Rohstoffe – der Erwartung steigender Ölpreise, der Verheißungsgeschichte der industriellen Biotechnologie und der Hoffnung auf neue Absatzmöglichkeiten für landwirtschaftliche Produkte – von Chemikern neu bewertet wurden. Eine wesentliche Erkenntnis des Kapitels bezieht sich also auf den Zusammenhang zwischen Objektidentität und Erwartungen. Ich habe deutlich gemacht, dass nicht nur die physischen Eigenschaften von Objekten entscheidend sind, damit sie als Innovationsobjekte erkannt werden. Die physischen Eigenschaften von Objekten gewinnen ihre Werthhaftigkeit vielmehr im Kontext bestimmter Erwartungen an die Zukunft.

Dabei bringen sich molekulare Verbindungen selbstverständlich nicht selbst ins Gespräch. Neben dem Zusammenhang zwischen Objektidentität und Zukunftsvorstellungen hat das Kapitel gezeigt, dass es im Fall der biobasierten Kunststoffe bestimmte Akteure waren, die aus der Vielfalt möglicher Innovationsstrategien das Potential konkreter molekularer Verbindungen hervorhoben und in der chemischen Industrie bekannt machten. Netzwerksoziologische Ansätze in der Wirtschaftssoziologie argumentieren, dass Innovationen auf die Verknüpfung bzw. Überlappung unterschiedlicher sozialer Netzwerke zurückzuführen sind (Burt 2005; 1992; Padgett und Powell 2012; Vedres und Stark 2010). Ähnlich haben auch Lester und Piore argumentiert, dass Innovationen durch die Integration von Elementen aus unterschiedlichen sozialen bzw. technologischen Bereichen entstehen (Lester und Piore 2004: 14f.). Bei Innovationen handelt es sich, das hat bereits Joseph Schumpeter festgestellt, um die Durchsetzung „neue[r] Kombinationen“ (Schumpeter 1912: 159).

Damit solche ‚neuen Kombinationen‘ bereits existierender Elemente aber tatsächlich entstehen, bedarf es bestimmter Akteure, die über das Wissen um diese vorhandenen Elemente und deren Rekombinationspotentiale verfügen. Im industriellen ‚Entdeckungsprozess‘ von PHB und PLA waren es Biochemiker wie Jim Baptist und Peter Senior, die das Wissen über mikrobielle Polyester und Fermentationstechnologien aus dem akademischen Umfeld der Biochemie in ein anderes Feld – die Kunststoffindustrie – einbrachten, oder Polymerchemiker wie Edward Lipinsky und Richard Sinclair, die bereits früh Ansätze zur Integration von Agrar- und Chemieindustrie entwickelten und dieses Wissen in den 1980er Jahren durch Publikationen und Vorträge in der Industrie verbreiteten. Diese Wissenschaftler standen gewissermaßen im Schnittpunkt unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen (Biochemie und Kunststoffchemie) bzw. unterschiedlicher Industrien (Chemie- und Agrarindustrie) und trugen dazu bei, diese weitgehend getrennten Bereiche miteinander zu verknüpfen. Dabei traten Wissenschaftler auch in der Rolle von ‚narrativen Unternehmern‘ (Bénabou, Falk und Tirole 2018; Shiller 2017) auf, die prospektive Geschichten über chemische Verbindungen entwarfen und öffentlich kommunizierten. Am Beispiel von Lipinsky und Sinclair habe ich gezeigt, dass sie dabei unterschiedliche Narrative aufgriffen und miteinander verknüpften, um Polymere wie PLA als zukunftsweisend darzustellen. So verknüpften die Wissenschaftler in ihrer prospektiven Geschichte über Polymilchsäure die Zukunftserzählungen um Ressourcen- und Abfallproblematik, die seit den 1970er Jahren den Diskurs über Kunststoffe prägten und schrieben PLA so gleich mehrfach ökologischen Wert zu.

Durch prospektive Geschichten entstand Aufmerksamkeit für molekulare Verbindungen, die zuvor kaum beachtet worden waren.

Dennoch sind kollektiv geteilte Erwartungen und prospektive Geschichten lediglich die hinreichende Bedingung dafür, dass sich PLA und PHB zu Innovationsobjekten entwickelten. Welche Unternehmen sich *tatsächlich* in der Weiterentwicklung von biobasierten Polymeren zu kommerziellen Kunststoffen engagierten, hing wesentlich von materiellen Vorbedingungen ab. Als Agrar- und Lebensmittelunternehmen verfügte *Cargill* beispielsweise bereits über den ersten Schritt in der PLA-Produktionskette – die Herstellung von Dextrose aus Mais. *Imperial Chemical Industries* hatte bereits hohe Summen in den Aufbau von Fermentationsanlagen investiert, die – nachdem das erste Biotechnologieprojekt zu SCP auf Probleme gestoßen war – zur Herstellung von PHBV verwendet werden konnten. Wertlose Substanzen werden also erst dann zu Innovationsobjekten, wenn Erwartungen auf materielle Vorbedingungen stoßen.

Im Hinblick auf die ökologische Qualifizierung biobasierter Polymere haben beide Objektbiographien außerdem deutlich gemacht, dass sich diese nicht nur auf die Erneuerbarkeit der Rohstoffquellen bezog, sondern ebenfalls auf die biologische Abbaubarkeit der Stoffe. Nachdem der Ölpreis in den 1980er Jahren gefallen war, hatte *ICI* die anvisierte Marktpositionierung von PHBV verändert und den Stoff primär als biologisch abbaubaren Kunststoff definiert. Und im Fall von PLA sahen Sinclair und Lipinsky vor allem zukünftige Anwendungen voraus, in denen die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit im Markt honoriert würde. Während das Ziel, Kunststoffe ‚abbaubar‘ zu machen, am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren zunächst unabhängig von der Rohstofffrage entstanden war, zeigen die beiden Objektbiographien also, dass die Innovationsziele der biologischen Abbaubarkeit und der Biobasiertheit in den 1980er Jahren miteinander verknüpft wurden. Der Unterschied zwischen den ‚abbaubaren Kunststoffen‘, die in den frühen 1970er Jahren entwickelt wurden, und biobasierten Kunststoffen wie PLA und PHB wird im nächsten Kapitel noch eine Rolle spielen.

Mit diesem Kapitel schließt der erste Teil der empirischen Untersuchung, die den Zusammenhang zwischen Wertzuschreibungen und dem Wandel von Erwartungen an die Zukunft in den Blick genommen hat. Ich habe gezeigt, dass Wertzuschreibungen sich dann verändern, wenn geltende Zukunftsnarrative in die Krise geraten und sich neue Zukunftsnarrative etablieren. Die Wahrnehmung der Werthaftigkeit von biologischer Abbaubarkeit und Biobasiertheit lässt sich auf

unterschiedliche kollektive Krisendiagnosen im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts zurückführen, in denen etablierte Handlungsrountinen und geltende Gewissheiten in Frage gestellt wurden, und die Zukunft der Kunststoffökonomie im Hinblick auf Abfall- und Rohstofffragen neu verhandelt wurde. Ihr Wertversprechen gewannen beide Produkteigenschaften aus Erzählungen darüber, welchen Beitrag sie zur Lösung kollektiver Probleme leisten könnten.

Die 1970er Jahre sind meines Erachtens vor allem deswegen formativ für die Entstehung von Märkten für Biokunststoffe, weil in diesem Zeitraum ein ökologisches Wertprinzip bei der Bewertung von modernen Industrieprodukten an Bedeutung gewann. Vertreter der Umweltbewegung wie Commoner oder Callenbach, aber auch Politiker und Verbraucher, die sich auf ein ökologisches Wertprinzip beriefen, um Kunststoffe zu kritisieren oder neue Kunststoffzukünfte zu entwerfen, trugen zu einer Reorientierung von Wertzuschreibungsprozessen bei. Aus ökologischer Perspektive wurden Kunststoffe jetzt nicht mehr im Hinblick auf ihren unmittelbaren Gebrauchswert, sondern im Hinblick auf ihre langfristige Einwirkung auf die Umwelt beurteilt. Konkreter gesagt, entwickelten sich vor dem Hintergrund ökologischer Bedrohungsszenarien *Kreislauffähigkeit* und die *Nutzung nachwachsender Rohstoffe* zu neuen ökologischen Maßstäben, anhand derer der ökologische Wert von Produkten gemessen wurde. Der Bedeutungszuwachs des ökologischen Wertprinzips bildet gewissermaßen die makrokulturelle Möglichkeitsbedingung für Marktinnovationsprozesse, in denen ‚grüne‘ Produktqualitäten geltend gemacht werden. Mit der Institutionalisierung des Ökologischen etablierten sich gleichzeitig aber auch neue Bewertungsinstanzen, die das ökologische Wertversprechen von Innovationen einer Überprüfung unterziehen. Dazu gehören z. B. nicht-staatliche Umweltschutzorganisationen und staatliche Umweltämter. Während ich im ersten Teil der Arbeit vor allem wertgenerierende Prozesse untersucht habe, werde ich in den folgenden Kapiteln ökologische *Evaluationsprozesse* in den Fokus rücken. Damit meine ich Prozesse, in denen der spezifische ökologische Wert ‚grüner‘ Kunststoffe überprüft wird, wenn diese tatsächlich in den Markt eingeführt werden. Die Analyse solcher ‚Prüfungen‘ nimmt eine zentrale Stellung im zweiten empirischen Teil der Arbeit ein.

Dabei habe ich in den vorangegangenen Kapiteln bereits bestimmte Uneinigheiten und Widersprüchlichkeiten in den Erwartungen an (biologisch) abbaubare bzw. biobasierte Kunststoffe angedeutet, die im Hinblick auf die Prüfung ökologischer Wertversprechen zum Tragen kommen werden. So habe ich z. B. in Kapitel 3 herausgearbeitet, dass die Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ unter Polymerchemikern in den frühen 1970er Jahren alles andere als unstrittig war, und das

ökologische Wertversprechen der Abbaubarkeit von Beginn an in Frage gestellt wurde. In Kapitel 4 und 5 habe ich gezeigt, dass hinter der Vision biobasierter Kunststoffe nicht nur ökologische Erwartungen an die Einsparung von fossilen Rohstoffen und Kreislauffähigkeit standen, sondern vor allem ökonomische und technologiepolitische Erwartungen an günstige Rohstoffpreise und eine Ausweitung der Märkte für Agrarprodukte. Während Umweltschützer wie Callenbach die Vision ‚grüner‘ Kunststoffe mit einer Abkehr vom Wachstumsprinzip verknüpften, erwartete die Industrie und politische Institutionen wie die *Europäische Kommission* im Gegensatz dazu gerade einen Erhalt bzw. eine Regeneration von ökonomischem Wachstum durch biobasierte Kunststoffe und Biotechnologie. Schon auf der Ebene der Erwartungen zeichnen sich also Konfliktkonstellationen ab, die einen Einfluss auf spätere Marktschaffungsversuche nahmen. Wie Unternehmen versuchten, Märkte für ‚grüne‘ Kunststoffe aufzubauen und auf welche Reaktionen sie dabei stießen, untersuche ich in den folgenden Kapiteln. Wie im vorangegangenen ersten Teil folgt zunächst eine kurze Einführung in den zweiten Teil der empirischen Untersuchung.

Teil II: Die Marktentwicklung ‚grüner‘ Kunststoffe (Mitte der 1980er Jahre bis heute)

Im vorangegangenen Teil der Arbeit habe ich die Frage untersucht, wie in der Kunststoffentwicklung Produkteigenschaften wertvoll wurden, die vorher als minderwertig galten und kein Marktpotential besaßen. Dazu habe ich den historischen Wandel von Erwartungen an die Eigenschaften und Rohstoffgrundlagen von Kunststoffen rekonstruiert, der die Entstehung von Märkten für Biokunststoffe überhaupt erst möglich gemacht hat. Während der erste Teil der Arbeit also den historischen Entstehungskontext der neuen Innovationsziele rekonstruiert hat, richte ich im zweiten Teil der Arbeit den Blick auf die Implementationsversuche technologischer Innovationen. Im Folgenden werde ich untersuchen, wie unterschiedliche Unternehmen seit Mitte der 1980er Jahre versucht haben, (biologische) Abbaubarkeit und Biobasiertheit als ökologische Produktqualitäten in Kunststoffmärkten geltend zu machen.

Der Untersuchungszeitraum umfasst die Zeit von Mitte der 1980er bis heute. Ich unterteile diesen Zeitraum in drei Sequenzen, die ich anhand von in den Markt eingeführten Polymeren auf der Ebene des technologischen Designs und anhand der dominierenden bzw. neu entstehenden Produktkategorien unterscheide (siehe Tab. 1, Seite 174). In jeder der drei Phasen wurden neue Polymere auf den Markt gebracht, die als umweltfreundliche Alternative zu konventionellen Kunststoffen vermarktet wurden. Mit der Einführung neuer Polymere veränderten sich auch die dominierenden Produktkategorien. In den folgenden drei Kapiteln verfolge ich das Ziel, die dynamische Entwicklung, die zur Herausbildung der heutigen Produktkategorie der Biokunststoffe geführt hat, zu verstehen.

Ich gehe mit Neil Fligstein davon aus, dass am Anfang von Marktinnovationsprozessen weder die Qualitäten der neuen Produkte, die Produktkategorien oder die Wettbewerbsstrukturen feststehen und sich erst in einem konflikthaften Prozess herauskristallisiert, was genau auf neuen Märkten gehandelt wird (Fligstein 2001: 89). Klassischerweise verortet die Marktsoziologie solche Aushandlungsprozesse allerdings zwischen den Produzenten (ebd.; H. White 1981). Die Bedeutung der Nachfrageseite und des weiteren Marktumfeldes liegt hingegen nicht im Fokus dieser klassischen Ansätze in der Wirtschaftssoziologie (Nessel 2016: 71).

Die Veränderung von Märkten erfordert jedoch, dass Innovationen von Nachfragern und dem weiteren Marktumfeld akzeptiert werden. Erst dann lassen sich Innovationen erfolgreich

implementieren und stabilisieren (Vargo, Wieland und Akaka 2015). Ich folge Innovationsforschern, die darauf hingewiesen haben, dass technologische Innovationen sowohl in ein bestimmtes Geschäfts- und Regulationsumfeld eingebettet werden und außerdem in der Öffentlichkeit legitimiert werden müssen, um erfolgreich institutionalisiert zu werden (Deuten, Rip und Jelsma 1997). Auch aus der Organisationsforschung ist bekannt, dass Unternehmungen nicht nur auf materiell-technische Ressourcen, sondern ebenso auf Anerkennung und Glaubwürdigkeit – also auf Legitimität – angewiesen sind (Deephouse und Suchman 2008; Meyer und Scott 1983). Mit Legitimität meinen Organisationssoziologen die „generalized perception or assumption that the actions of an entity are desirable, proper, or appropriate within some socially constructed systems of norms, values, beliefs, and definitions“ (W.R. Scott 1995: 574). Zwar versuchen Unternehmen ihr unternehmerisches Handeln und ihre Innovationen mit anerkannten Normen und Werten in Übereinkunft zu bringen. Legitimität ist aber nichts, was Unternehmen einfach beanspruchen können. Vielmehr ist Legitimität immer auf Zuschreibungen von anderen angewiesen: „It comes about through and depends on the implied presence of a social audience, those assumed to accept the encompassing framework of beliefs, norms, and values, and, therefore, the construal of the object as legitimate“ (Johnson, Dowd und Ridgeway 2006: 57). Jüngere Arbeiten aus dem Feld der *Valuation Studies*, der Organisationssoziologie und der Wirtschaftssoziologie rücken den Einfluss von Marktintermediären auf die soziale Organisation und den Wandel von Märkten in den Fokus (Bessy und Chauvin 2013; Khaire 2017). Vor allem in Märkten, in denen Produkte mit einem ökologischen Qualitätsanspruch gehandelt werden, übernehmen Marktintermediäre die Aufgabe, die Glaubwürdigkeit unsicherer Produktqualitäten zu prüfen, Produkte zu legitimieren oder eben nicht (Arnold und Hasse 2016; Nessel 2016).

Ich gehe im Folgenden von der These aus, dass die Reaktionen des Marktumfeldes Einfluss auf den Erfolg bzw. auf die Richtung von Marktinnovationsprozessen nehmen. Das bedeutet für die empirische Untersuchung, den Fokus auf historische Situationen zu legen, in denen Innovationen beginnen, bestehende Märkte zu beeinflussen und danach zu fragen, welche Reaktionen sie dabei hervorrufen. Wie also haben Unternehmen versucht, Marktbeziehungen für Kunststoffe mit ökologischem Qualitätsanspruch aufzubauen und wie hat das Marktumfeld auf diese Versuche reagiert? Mein Fokus liegt dabei auf der Analyse von Widerständen und Problemen, die sich den anvisierten Marktschaffungsversuchen entgegengestellt haben.

Der folgende Teil der Arbeit gliedert sich in drei Kapitel. Kapitel 6 rekonstruiert die Phase zwischen Mitte der 1980er und Anfang der 1990er Jahre, in der Unternehmen zum ersten Mal versucht haben, einen Markt für ‚abbaubare Kunststoffe‘ aufzubauen. In dieser Phase wurden jene Technologien auf den Markt gebracht, die bereits in den 1970er Jahren entwickelt worden waren (siehe Kap. 3). Dabei handelte es sich um Technologien, die konventionelle Kunststoffe wie Polyethylen durch den Einbau von fotosensitiven Additiven (Metallsalzen oder Carbonylgruppen) oder von 6 Prozent Stärke ‚abbaubar‘ machen sollten. Vor allem in den USA löste der Versuch, diese Stoffe auf den Markt zu bringen, eine Kontroverse um die Frage aus, ob sie tatsächlich – wie behauptet – einen Beitrag zur Lösung der Abfallproblematik leisten könnten.

Kapitel 7 untersucht eine zweite Sequenz im Marktinnovationsprozess von Anfang der 1990er bis Anfang der 2010er Jahre, in der andere Unternehmen versuchten, mit einer Reihe von neuen biologisch abbaubaren Kunststoffen eine Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen aufzubauen. Zu den Stoffen, die nun in den Markt eingeführt wurden, zählten einerseits biologisch abbaubare Polymere aus (überwiegend) pflanzlichen Rohstoffen wie PLA, PHBV und sogenannte Stärkeblends. Außerdem wurden biologisch abbaubare Kunststoffe aus vollständig petrochemischen Rohstoffen, wie z. B. PBAT, eingeführt. Da die Hersteller die Entsorgung der Kunststoffabfälle über die biologische Abfallentsorgung der Kompostierung anstrebten, wurden diese Stoffe häufig auch als ‚kompostierbare Kunststoffe‘ bezeichnet. In diesem Kapitel konzentriere ich mich auf Marktschaffungsversuche in Deutschland. Einen länderspezifischen Fokus zu wählen, war hilfreich, da ich in diesem Kapitel den Versuch der Einbettung in institutionelle Rahmenbedingungen und technische Infrastrukturen untersuche, die sich je nach Land unterscheiden. Der Beispielfall Deutschland veranschaulicht jedoch auch grundlegende Konfliktkonstellationen, die eine Stabilisierung von Märkten für biologisch abbaubare bzw. kompostierbare Kunststoffe erschweren.

Kapitel 8 rekonstruiert die letzte Sequenz zwischen Anfang der 2000er Jahre und heute. Hier untersuche ich, wie sich der Innovationsprozess angesichts der Probleme bei der Marktschaffung für biologisch abbaubare Kunststoffe weiterentwickelte. Ich zeige, dass das Innovationsziel der biologischen Abbaubarkeit seine dominante Stellung in der entstehenden Branche verlor. In dieser Phase wurden neue Polymere eingeführt, die abermals neu definierten, was ‚grüne‘ Kunststoffe leisten sollte. Bei Stoffen wie Bio-PE oder Bio-PET handelt es sich um biobasierte Kunststoffe, die aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt werden, die aber nicht biologisch abbaubar sind. In

diesem Zeitraum festigte sich auch das Kategorienlabel Biokunststoff als übergeordnete Bezeichnung für die neue Materialklasse, die nun zwei Produkteigenschaften – biologische Abbaubarkeit und Biobasiertheit – umfasste.

Tab. 1: Produktkategorien und technologisches Design ‚grüner‘ Kunststoffe, 1985 - heute

Zeitraum	Mitte 1980er – Anfang 1990er	Anfang 1990er – Anfang 2010er	Anfang 2000er - heute
Produktkategorien	Abbaubare Kunststoffe Biologisch abbaubare Kunststoffe Fotochemisch abbaubare Kunststoffe	Biologisch abbaubare Kunststoffe bzw. Werkstoffe Kompostierbare Kunststoffe	biobasierte Kunststoffe Biokunststoffe
Technologisches Design	Konventionelle Kunststoffe + 6%-Stärke Konventionelle Kunststoffe + Metallsalze Konventionelle Kunststoffe + Carbonylgruppe	aus nachwachsenden Rohstoffen: PHBV PLA Stärkeblends (über 50 % thermoplastische Stärke + biologisch abbaubare Bestandteile aus petrochemischen Rohstoffen) Aus petrochemischen Rohstoffen: PBAT	Bio-PE Bio-PET PEF (noch in der Entwicklungsphase)

6. Ein erster Markt für abbaubare Kunststoffe

In Kapitel 3 hatte ich beschrieben, wie die Vision (biologisch) abbaubarer Kunststoffe im Kontext ökologischer Krisendiskurse am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren entstanden war, und wie erste Technologien entwickelt wurden, die Kunststoffe ‚abbaubar‘ machen sollten. Obwohl diese Technologien bereits in den 1970er Jahren kommerziell erhältlich waren, gelang es Unternehmen erst seit Mitte der 1980er Jahre, ‚abbaubare Kunststoffe‘ in Kunststoffmärkten zu platzieren. Das folgende Kapitel rekonstruiert die Phase zwischen Mitte der 1980er Jahre und Anfang der 1990er Jahre, als Unternehmen erstmals begannen, einen Markt für ‚abbaubare Kunststoffe‘ aufzubauen. Dabei zeichnet sich diese Phase im Marktinnovationsprozess vor allem dadurch aus, dass zu diesem Zeitpunkt weder wissenschaftliche Definitionen von biologischer oder fotochemischer Abbaubarkeit noch wissenschaftliche Prüfmethode existierten, die einen Abbau von Kunststoffen objektiv nachgewiesen hätten. Abbaubarkeit war im Grunde eine undefinierte Eigenschaft, die unterschiedlichen Kunststofftechnologien zugeschrieben wurde, um sie von konventionellen Kunststoffen zu unterscheiden, und die von Kunststoffanwendern dazu genutzt wurde, ihre Produkte als umweltfreundlich zu qualifizieren. Angesichts der unklaren Begrifflichkeiten war das Vordringen der neuen Technologien allerdings höchst umstritten und führte zu einer öffentlich ausgetragenen Kontroverse.

In Kapitel 6.1. untersuche ich zunächst, wie es Mitte der 1980er Jahre dazu kam, dass Innovationen, die in den 1970er Jahren keine Abnehmer gefunden hatten, plötzlich in etablierte Kunststoffmärkte vordringen konnten. Kapitel 6.2. stellt die Frage nach den Reaktionen des Marktumfelds auf die Innovation und untersucht die Kontroverse um ‚abbaubare Kunststoffe‘ am Übergang von den 1980er zu den 1990er Jahren. Hier unterscheide ich zwischen etablierten Kunststoffherstellern, die um Marktanteile fürchteten, staatlichen Behörden, die nach neuen Entsorgungsmethoden für Kunststoffabfälle suchten, und Nicht-Regierungsorganisationen, die das ökologische Wertversprechen der Stoffe bewerteten. Kapitel 6.3. untersucht, wie die Kontroverse um ‚abbaubare Kunststoffe‘ die weitere Marktentwicklung beeinflusste.

6.1. Abbaubare Kunststoffe als Lösung für die Deponiekrise

Erste Technologien, die Kunststoffe ‚abbaubar‘ machen sollten, wurden bereits Mitte der 1970er Jahre von Unternehmen in Nordamerika, Japan und Europa angeboten. Dazu gehörten z. B. die

‚fotochemisch abbaubaren‘ Kunststoffe, die von den Polymerforschern James Guillet und Gerald Scott entwickelt worden waren (siehe Kap. 3). Allerdings blieb der kommerzielle Erfolg der Stoffe zu diesem Zeitpunkt weitgehend aus. Eine Ausgabe von *Modern Plastics International* berichtete im Jahr 1976 beispielsweise, dass einige europäische Hersteller wie *Akerlund & Rausing*, *Van Leer Ecoplastics* und *Amerplast*, „have expressed disappointment with market development in packaging to date“ (o.A. 1976c: 20). Auch in Japan hätten bereits einige Unternehmen ihre Aktivitäten im Bereich ‚abbaubarer Kunststoffe‘ vollständig aufgegeben, „after failing to get commercial packaging ventures of ground“ (ebd.). Im Editorial in *Modern Plastics International* im Juni 1977 sprach der Herausgeber der Zeitschrift sogar davon, dass ‚abbaubare Kunststoffe‘ in Verpackungsmärkten, ‚beinahe tot‘ seien. In einem Gespräch mit einem Kunststoffhersteller hatte er erfahren, dass ‚niemand abbaubare Kunststoffe haben wollte‘ (Keillur 1977: 5).

Lediglich ein britisches Unternehmen, *Coloroll Ltd.*, produzierte in den 1970er Jahren Kunststofftüten aus dem von Gerald Griffin entwickelten Polyethylen, das mit wenigen Prozent Stärke vermischt wurde, für den britischen Tragetaschenmarkt. In den wenigen US-Bundestaaten, in denen so etwas wie ‚abbaubare‘ Six-Pack-Halterungen gesetzlich vorgeschrieben waren, fanden ‚fotochemisch abbaubare‘ Kunststoffe ebenfalls einen geringfügigen Absatzmarkt. Außerdem schien sich die Landwirtschaft Ende der 1970er Jahre zu einem Abnehmer zu entwickeln, beispielsweise für die Herstellung von Mulchfolien oder Pflanztöpfen. Hier wurden die neuen Stoffe allerdings nicht als ökologische Innovation qualifiziert. Das Wertversprechen lag vielmehr in der Arbeitersparnis für den Bauern, der die gebrauchten Folien und Töpfe nicht mehr einsammeln müsste (o.A. 1976c). In den von Polymerforschern wie Guillet und Scott eigentlich anvisierten Verpackungsmärkten konnten sich ‚abbaubare Kunststoffe‘ in den 1970er Jahren nicht etablieren.

Das lag einerseits daran, dass die Nachfrager von Kunststoffen in den 1970er Jahren von vorne herein nicht davon überzeugt waren, dass der Endverbraucher für so etwas wie ‚abbaubare Kunststoffprodukte‘ bereit wäre, mehr zu bezahlen. *Union Carbide* hatte beispielsweise schon früh in Erwägung gezogen, einen ‚biologisch abbaubaren Abfallbeutel‘ herzustellen, kam jedoch zum Schluss, dass für ein solches Produkt kein „premium price“ (Sprow 1973: 79) vom Verbraucher verlangt werden könnte. Unter Kunststoffanwendern herrschte das Gefühl, „that the consumer will not pay extra for disposability even if it’s only a few pennies“ (ebd.). Konsumenten und Kunststoffanwender alleine aus ‚altruistischen Motiven‘ zur Aufgabe konventioneller Kunststoffe

zu bewegen, sei aus Sicht vieler Verpackungs- und Tütenhersteller schwierig; der Wechsel von stabilen zu ‚abbaubaren Kunststoffen‘ müsse wahrscheinlich, so die Prognose des Autors der Zeitschrift *Machine Design*, durch Gesetzgebungsverfahren politisch durchgesetzt werden (ebd.).

Andererseits hatten in Europa einige Kunststoffanwender – in diesem Fall große Kaufhäuser wie *Marks&Spencer* in Großbritannien oder *Karstadt* in Deutschland – ‚abbaubare Kunststoffe‘ für die Herstellung von Tragetaschen getestet, sich im Anschluss jedoch gegen ihre Einführung entschieden. *Marks&Spencer* befand Plastiktüten aus dem *Ecoten*-Material von Scott beispielsweise als „not right“ (o.A. 1975b: 325); der Leiter für Materialeinkauf bei *Karstadt* kam gar zu dem Urteil, es handele sich um einen „„Werbe-Gag‘ der Folien-Industrie“ (Schmidt-Bachem 2011: 815). Nach einigen Tests hatte sich bei *Karstadt* die Einsicht durchgesetzt, dass die „Einführung [von Tragetaschen aus abbaubaren Folien] (...) von der Wirkung und vom Risiko her kaum zu vertreten“ sei (ebd.). Auch in *Modern Plastics International* verwiesen Autoren auf die ‚technischen Probleme‘ als Grund für den ausbleibenden Markterfolg ‚abbaubarer Kunststoffe‘:

„Responsible for the failure of degradable plastics to win packaging markets thus lies with our good customers – the suppliers of food, drinks, and other goods packaged in our products. There is no way in a normal commercial transaction that we can force degradable products on an unwilling clientele. The problem associated with use of degradable plastics are not insurmountable, according to their proponents, but most of our customers do not want these problems“ (Keillur 1977: 5).

In den 1970er Jahren gelang es Unternehmen also nicht, ‚abbaubare Kunststoffe‘ in größerem Ausmaß einzuführen. Der erste Hype um die Idee der (biologischen) Abbaubarkeit in den frühen 1970er Jahren war schnell wieder abgeklungen und die Stoffe tauchten nur noch selten in Berichten der Kunststofffachpresse auf. Das änderte sich allerdings Mitte der 1980er Jahre im Kontext eines neuen Krisendiskurses, in dem Kunststoffe abermals als Problem des öffentlichen Interesses markiert wurden. Während in den 1970er Jahren das Problem des *Litterings* – also die unsachgemäße Entsorgung von Kunststoffabfällen in der freien Natur – im Zentrum öffentlicher Kunststoffkritik stand, entwickelten sich Kunststoffe in den 1980er Jahren zunehmend zu einem Problem der *geordneten* Abfallentsorgung.

In den 1980er Jahren wurden Abfälle in westlichen Industrienationen größtenteils noch auf Mülldeponien entsorgt, die nun – angesichts der zunehmenden Menge an Verpackungsabfällen – an ihre Kapazitätsgrenzen zu stoßen schienen. Die öffentliche Abfallentsorgung wurde in den 1980er Jahren sowohl in den USA als auch in Europa als krisenhaft erlebt (Keller [1998] 2009;

Menell 2003; Stokes, Köster und Sambrook 2013). Im Kontext dieser neuen Krisendiagnose wurden Kunststoffe nicht mehr nur von Umweltschützern als ökologisches Problem kritisiert, sondern sie gerieten nun auch in den Fokus von Gesetzgebern, die etablierte Kunststoffmärkte einschränken oder transformieren wollten, um die öffentliche Abfallentsorgung zu entlasten.

Dabei konnten Politiker in ihren Gesetzesentwürfen auf die Vision (biologisch) abbaubarer Kunststoffe zurückgreifen, die in den 1970er Jahren entstanden war, zu diesem Zeitpunkt aber kaum Resonanz in der Kunststoffindustrie erzeugen konnte. Daran wird deutlich, dass technologische Visionen, sind sie einmal in der Welt, als Elemente des gesellschaftlichen Ideenhaushalts weiterexistieren. Obwohl die Idee der (biologischen) Abbaubarkeit zunächst kaum Einfluss in der Kunststoffindustrie hatte, blieb ihr imaginativer Überschuss erhalten und konnte in einem anderen Krisenkontext von anderen Akteuren reaktiviert werden. In diesem Fall verschoben Politiker die Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ vom Problemkontext des *Litterings* auf den Problemkontext der geordneten Abfallentsorgung. Die erste Markteinführung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ wurde also wesentlich durch staatliche Instanzen initiiert, die eine Veränderung der institutionellen Einbettung von Kunststoffmärkten anstrebten und damit neue Regelsysteme entwarfen, die ‚Abbaubarkeit‘ als Produkteigenschaften von Kunststoffen privilegierten. Durch angestrebte und tatsächlich umgesetzte Gesetzgebungsverfahren, die ‚abbaubare Kunststoffe‘ staatlich verordneten, verschoben sich die Machtverhältnisse zwischen etablierten Kunststoffanbietern und Herausforderern in Kunststoffmärkten. Auf der Grundlage von Gesetzgebungsverfahren konnten ‚abbaubare Kunststoffe‘ nun erstmals in Kunststoffmärkte vordringen.

Italien war eines der ersten Länder, in dem die Idee ‚abbaubarer Kunststoffe‘ in die staatliche Regulation von Kunststoffmärkten eingeschrieben wurde. Der italienische Gesetzgeber hatte bereits 1984 eine Verordnung erlassen, die den Herstellern von Tragetaschen bis 1991 Zeit einräumte, konventionelle Plastiktüten durch ‚biologisch abbaubare‘ zu ersetzen (o.A. 1985a: 17). Vor allem aber in den USA geriet die Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ in den Aufmerksamkeitsfokus von Politikern und Abfallbeauftragten. Bis in die 1980er Jahre wurde die Entsorgung von Kunststoffabfällen auf Mülldeponien in der amerikanischen Öffentlichkeit kaum thematisiert. Steigende Entsorgungskosten und schwindende Deponiekapazitäten setzten lokale Verantwortliche für die Müllentsorgung allerdings auch hier zunehmend unter Druck und machten das Thema in der Öffentlichkeit populär. Allein im Jahr 1986 erschienen über zweihundert

Zeitungsartikel, die auf das Problem der geordneten Abfallentsorgung aufmerksam machten (Menell 2003: 1). In einer Befragung der *Federal Environmental Protection Agency* gaben Verantwortliche in 27 Bundesstaaten an, dass in den nächsten drei bis zehn Jahren mit schwerwiegenden Kapazitätsproblemen auf Mülldeponien zu rechnen sei: „This is a crisis“, diagnostizierte Gordon Boyd, Direktor der *Legislative Commission on Solid Waste Management*: „And it will get much worse before it gets better. Nationally we are running out of space, and at an accelerating rate. It’s happening on a logarithmic curve“ (Bronstein 1987: 20).

Angesichts dieser Aussichten waren bis Oktober 1987 bereits in über zehn Bundesstaaten Verbote von Einwegprodukten aus Kunststoffen wie Eierkartons, Fast-Food-Behälter, Tamponapplikatoren, Windeln, Einkaufstaschen, Flaschen und Verpackungen vorgeschlagen worden (Fritz 1987: 210). Neben diesen Verbotverfahren wurden in den USA eine Reihe von Gesetzesvorschläge eingebracht, die den Einsatz ‚abbaubarer Kunststoffe‘ vorschreiben oder unterstützen sollten. Auf nationaler Ebene gab es im Jahr 1987 bereits zehn solcher Gesetzesvorschläge (ebd.). Ende der 1980er Jahre wurde ein Gesetz verabschiedet, dass die ‚Abbaubarkeit‘ von Six-Pack-Halterungen landesweit durchsetzen sollte (Wilder 1989: 74). Auf einer Konferenz der amerikanischen Kunststoffindustrie verlieh der Initiator des Gesetzesvorschlags, Senator John Chafee, seinem politischen Anliegen Ausdruck, „that since half the nation’s municipal landfills are rapidly approaching saturation, the U.S. must pursue the development of degradable plastic products and recycling“ (Mackerron 1987: 17). Gesetzgeber auf regionaler oder städtischer Ebene legten in ‚abbaubare Kunststoffe‘ die Hoffnung, einen Beitrag zur geordneten Abfallentsorgung zu leisten, indem sie die ‚Lebensdauer‘ lokaler Mülldeponien um einige Jahre ausdehnen würden (o.A. 1988a: 19; The Society of the Plastics Industry 1987).

Neben der abfallpolitischen Motivation lassen sich einige Gesetzesvorschläge zur Einführung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ in den USA aber auch auf Interessenvertreter der Landwirtschaft zurückführen, die das nun virulente Entsorgungsproblem nutzten, um den Einsatz von Stärke zur Herstellung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ politisch zu fördern (o.A. 1989b: 172). Insbesondere Senatoren aus Bundesstaaten mit einer starken Agrar-Lobby brachten Gesetzesvorschläge zur Unterstützung eines Marktes für ‚abbaubare Kunststoffe‘ ein. So hatten Politiker aus Illinois und Ohio Ende der 1980er Jahre den Vorschlag eines öffentlichen Beschaffungsprogramms für ‚abbaubare Kunststoffe‘ gemacht, das die US-Regierung anweisen sollte, wenn immer möglich, ‚abbaubare‘ statt konventionelle Kunststoffprodukte zu kaufen (o.A. 1989a: 71). Dieses öffentliche

Beschaffungsprogramm, so die Argumentation der Politiker, würde zwei Probleme lösen: „namely, a return to health and prosperity for our nation’s agriculture and the serious environmental problem we are facing regarding the disposal of solid waste“ (ebd.).

Unternehmen aus dem Agrarsektor erkannten nun die Technologie der stärkegefüllten Kunststoffe als Möglichkeit, neue Absatzmärkte für Mais- und Kartoffelstärke zu schaffen (Fargo 1988: 52; o.A. 1988b: 43; 1989b: 74; 1990c: 10). Vor allem zwei nordamerikanische Unternehmen aus dem Agrarsektor, *Archer Daniels Midland* (USA) und *St. Lawrence Starch* (Kanada), versuchten Ende der 1980er Jahre, stärkegefüllte Kunststoffe auf den Markt zu bringen und sich damit als neue Herausforderer in Kunststoffmärkten zu positionieren. Dazu konnte sie auf die in den 1970er Jahre entwickelten Stärke-Technologien zurückgreifen und diese in einem größeren Umfang kommerzialisieren (Parr 1987: 206). Um ihre Produkte von den bereits erhältlichen ‚fotochemisch abbaubaren‘ Kunststoffen abzugrenzen, bezeichneten sie diese als ‚biologisch abbaubar‘ (Thayer 1990: 14).¹³ Angesichts der öffentlichen Aufmerksamkeit, die dem Konzept der (biologischen) Abbaubarkeit zwischen Mitte und Ende der 1980er Jahre zuteil wurde, stießen die Hersteller ‚abbaubarer Kunststoffe‘ nun auch erstmals auch auf Resonanz bei Kunststoffanwendern.

Während Kunststoffanwender in den 1970er Jahren noch kaum Vermarktungspotential in ‚abbaubaren Kunststoffen‘ sahen, erkannten einige Hersteller von Kunststoffprodukten das Konzept der Abbaubarkeit in den 1980er Jahren als Marketingoption, um ihre Produkte zu singularisieren und von Konkurrenzprodukten abzugrenzen. Dazu gehörten vor allem kleinere Hersteller von Kunststoffprodukten in den USA, die sich z. B. mit der Einführung von ‚abbaubaren Abfallbeuteln‘ einen Vorteil gegenüber den Marktführern in diesem Bereich erhofften: „We were trying to find a point of differentiation“ (o.A. 1985b: 2), gab etwa der Marketingdirektor von *Webster Industries* als Grund für die Herstellung von ‚abbaubaren Abfallbeuteln‘ an. Obwohl *Mobil Chemical* und *First Brands*, die Marktführer im Bereich von Abfallbeuteln, vom Konzept ‚abbaubarer Kunststoffe‘ als Lösung für das Entsorgungsproblem *nicht* überzeugt waren, sahen sie sich, angesichts der nun einsetzenden Marktdynamik in Richtung Abbaubarkeit und dem wachsenden politischen Druck auf Kunststoffmärkte, dazu veranlasst, es ihren kleineren

¹³ Diese sogenannten ‚biologisch abbaubaren Kunststoffe‘ enthielten allerdings zumeist nicht nur einen geringen Anteil biologisch abbaubarer Stärke, sondern zudem prooxidative Chemikalien, die einen oxidativen Zerfall der Polymere einleiten sollten.

Konkurrenten gleich zu tun, um keine Marktanteile zu verlieren. *Mobil* rechtfertigte die Entscheidung zur Herstellung ‚abbaubarer Abfallbeutel‘

„purely by the demands of the market, noting that the company understood from the beginning that fighting to retain share in competitive business would force it to produce degradable bags should some of its competitors make a rapid and successful tilt in that direction. He observes also that the U.S. Congress and many state legislatures are forcing the pace by enacting or proposing laws that would require products to degrade“ (o.A. 1989f).

Zwischen Mitte und Ende der 1980er Jahre entwickelte sich also, vorangetrieben von landwirtschaftlichen, abfallpolitischen und Marketinginteressen, erstmals ein Markt für ‚abbaubare Kunststoffe‘. ‚Fotochemisch abbaubare‘ Kunststoffe und stärkegefüllte ‚biologisch abbaubare‘ Kunststoffe konnten jetzt zunehmend Marktanteile erobern. „It is clear from product introductions in a number of different areas that a rush to degradability is beginning“ (Wilder 1989: 75), beobachtete beispielsweise die Fachzeitschrift *Modern Plastics International* die aufkommende Marktdynamik. Auch Marktforschungsinstitute prognostizierten ‚abbaubaren Kunststoffen‘ nun ein „tremendous market potential“ (Portnoy 1987: 36). Abbaubarkeit erschien Marktforschern als „an inevitable part of plastic evolution. It’s the sort of thing everybody says is going to happen and probably needs to happen“ (ebd.). Die Marktforscher der *Freedonia Group* gingen davon aus, dass es in den USA zu einem Nachfragewachstum von 75% pro Jahr bis 1992 kommen würde (Wilder 1989: 74). In Europa sollten laut *Frost & Sullivan* bis 1992 bereits ein Drittel der Kunststoffe in Tüten- und anderen Folienanwendungen ‚fotochemisch‘ oder ‚biologisch abbaubar‘ sein, die jährliche Produktion von ‚abbaubaren Kunststoffen‘ von 4600 auf 21.000 Tonnen ansteigen und Umsätze von 92 Millionen Dollar erzielt werden können (o.A. 1989e: 115).

An der einsetzenden Marktdynamik, an den hohen Wachstumsprognosen der Marktforscher und an der zunehmenden Zahl von staatlichen Anordnungen und Gesetzen, die ‚Abbaubarkeit‘ verlangten, ist allerdings bemerkenswert, dass zu diesem Zeitpunkt weder in der Polymerwissenschaft noch in der Kunststoffindustrie geklärt war, was unter einer ‚Abbaubarkeit‘ von Kunststoffen eigentlich genau zu verstehen sein sollte. Während Politiker ‚abbaubare Kunststoffe‘ gesetzlich vorschrieben und Unternehmen ihre Produkte als ‚abbaubare Kunststoffe‘ vermarkteten, existierten weder Industriestandards noch wissenschaftliche Prüfverfahren, die die Abbaubarkeit von Kunststoffen festlegten oder überprüfbar machten. Dementsprechend machte ein Autor in *Modern Plastics International* darauf aufmerksam, dass „[t]here are serious unanswered

questions about how polymers degrade, the extent to which they actually break down in the environment, and the effect of the residue they leave behind“ (Wilder 1989: 74). Es war also weder wissenschaftlich geklärt, durch welche Mechanismen ‚abbaubare Kunststoffe‘ in der Umwelt oder auf der Mülldeponie abbauen, ob sie tatsächlich vollständig abbauen und was nach einem Abbau noch von ihnen übrigblieb.

Politiker handelten Ende der 1980er Jahre nicht aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse, sondern aufgrund der Hoffnung, eine schnelle Lösung für die antizipierte Deponiekrise zu finden. Und Unternehmen wie *Archer Daniels Midland* und *St. Lawrence Starch* nutzten die Hoffnung auf Abbaubarkeit als Lösung für das Problem der Abfallentsorgung, um neue Absatzmärkte für Stärke zu entwickeln. Dabei gründete der entstehende Markt für ‚abbaubare Kunststoffe‘ allein auf der Vorstellung einer irgendwie gearteten Dematerialisierung von Kunststoffen und der Annahme von Politikern und Verbrauchern, dass es sich bei ‚abbaubaren Kunststoffen‘ um eine Verbesserung konventioneller Kunststoffe handeln würde. „[W]hen faced with a crisis“, so drückte es der Präsident der amerikanischen *Society of the Plastics Industry* aus, „the mere perception that degradability can ease landfill burdens may be enough to cause a public outcry for action from the plastics industry“ (The Society of the Plastics Industry 1987: 2).

Mit wachsendem Einfluss auf die etablierten Kunststoffmärkte wurden die Wertversprechen ‚abbaubarer Kunststoffe‘ allerdings zunehmend öffentlich verhandelt und überprüft. Sowohl die etablierte Kunststoffindustrie als auch staatliche und nicht-staatliche Umweltschutzorganisationen setzten sich jetzt mit dem Konzept der ‚Abbaubarkeit‘ und den bereits erhältlichen ‚abbaubaren Kunststoffen‘ auseinander. Das folgende Kapitel stellt deren Reaktion dar.

6.2. Abbaubarkeit als Placebo, Fantasie und Greenwashing

Aus der Perspektive des im Theorieteil der Arbeit entwickelten Analysemodells sind technologische Innovationen immer erst einmal nur Wertversprechen, die von einem Umfeld aus Anwendern, Regulations- und Bewertungsinstanzen legitimiert werden müssen. Entsteht Zweifel an der Werthaftigkeit einer Innovation, mündet dies in einen Prüfungsprozess, der diesen Zweifel ausräumen soll (Boltanski und Thévenot [1991] 2014: 187ff.). Gerade wenn Produzenten ihre Innovation als Lösung für ein kollektives Problem qualifizieren, ist davon auszugehen, dass ihre Wertversprechen einer *öffentlichen* Prüfung unterzogen werden. Als ‚abbaubare Kunststoffe‘ Ende der 1980er Jahre tatsächlich erstmals in etablierte Kunststoffmärkte vordringen konnten und es so

schien, als ob sie nun zunehmend Marktanteile erobern würden, veranlasste dies eine Reihe von Instanzen dazu, die Idee der ‚Abbaubarkeit‘ und die konkreten ‚abbaubaren Kunststoffe‘ genauer in Augenschein zu nehmen, zu hinterfragen und Praxistests mit den verfügbaren Stoffen durchzuführen.

Zu den relevanten Instanzen gehörten am Übergang von den 1980er zu den 1990er Jahren vor allem drei zu unterscheidende Gruppen: erstens Hersteller konventioneller Kunststoffe, die dem Konzept der ‚Abbaubarkeit‘ immer schon kritisch gegenübergestanden hatten, die jetzt aber um ihre Marktanteile fürchteten und sich dementsprechend intensiver mit dem Konzept und den verfügbaren Stoffen beschäftigten; zweitens staatliche Behörden, die Ende der 1980er Jahre angesichts der erwarteten Deponiekrise neue abfallpolitische Maßnahmen entwickelten und daher auch ‚abbaubare Kunststoffe‘ auf ihre Eignung als Entsorgungsmaßnahme überprüften; und drittens nicht-staatliche Umweltschutzorganisationen, die sich seit den 1970er Jahren zu wichtigen Intermediären in Märkten für Produkte mit ökologischem Wertversprechen entwickelten. Auf Konferenzen, in Studien, Standpunktpapieren und Fachartikeln wurde die Angemessenheit ‚abbaubarer Kunststoffe‘ als Lösung für das Litter- und Deponieproblem, und damit ihr Wertversprechen, öffentlich geprüft. Da ‚abbaubare Kunststoffe‘ Ende der 1980er Jahre vor allem in den USA Marktanteile erobern konnten, werde ich mich im Folgenden auf die Reaktionen in diesem länderspezifischen Kontext konzentrieren.

Reaktion der Kunststoffindustrie

In der etablierten Kunststoffindustrie hatte die Idee der (biologischen) Abbaubarkeit schon in den 1970er Jahren kaum jemanden überzeugen können (siehe Kap. 3). Da sich die Hersteller konventioneller Kunststoffe nun aber durch die angestrebten und tatsächlich durchgeführten staatlichen Eingriffe in Kunststoffmärkte zunehmend bedroht sahen, hielt der Verband der US-amerikanischen Kunststoffindustrie 1987 erstmals eine eigenständige Konferenz zum Thema ab, auf der Wissenschaftler und Unternehmensvertreter ‚abbaubare Kunststoffe‘ vorstellten und diskutierten (The Society of the Plastics Industry 1987).

Dabei war der Standpunkt der etablierten Kunststoffindustrie zum Konzept der ‚Abbaubarkeit‘ auch Ende der 1980er Jahre generell von Ablehnung geprägt. In seiner Willkommensrede zur Konferenz erinnerte der Präsidenten des amerikanischen Verbands der Kunststoffindustrie an die Entstehung dieser Vision in den 1970er Jahren. Damals sei ‚biodegradability‘ zu einem ‚buzz

word“ (ebd.: 1) avanciert, das eine einfache Lösung für das Problem des Kunststofflitters in der freien Natur versprach, dieses Versprechen aber nicht einhalten konnte. Dabei merkte er kritisch an, dass anstelle wissenschaftlicher Erkenntnis noch heute eine Art „emotional sense of well-being“ das Konzept der ‚Abbaubarkeit‘ umgäbe, vor allem bei denjenigen „who view it as a panacea in alleviating both litter and waste disposal problems“ (ebd.).

Im Gegensatz zu diesen Hoffnungsträgern war der Präsident des Kunststoffverbandes davon überzeugt, dass die ‚Abbaubarkeit‘ von Kunststoffen kein Heilmittel, sondern nur ein ‚Placebo‘ für das Abfallproblem darstellte. Er hielt Kunststoffanwender und Politiker daher an, kritisch zu hinterfragen, wo ‚Abbaubarkeit‘ tatsächlich praktikabel und angemessen, und nicht einfach nur technisch möglich sei. Dazu führte er eine Reihe an Prüfungsfragen auf, die die Entscheidung für oder gegen den Aufbau von Märkten für ‚abbaubare Kunststoffe‘ anleiten sollten:

„What really are ‘appropriate’ applications? In what types of products would the desirability of degradability outweigh the need for durability or integrity in a package? What effect would chemical modification in a polymer have on the ability of food or beverage package to assure safety from microbial contamination? What impact would these chemical modifications have on the recyclability of these polymers? What would be the by-products of decomposition of the materials? Would the perceived environmental benefit of degradability truly outweigh the possible hazard of undesirable by-products in the ground or air? What would be the true effects of degradable plastic on easing litter problems or landfill burdens?“ (ebd.: 2).

In einem *White Paper* wurden Vertreter der Kunststoffindustrie noch deutlicher in ihrer Ablehnung des Konzepts. Sie prangerten ‚Abbaubarkeit‘ als fehlgeleitete und kurzfristig gedachte Lösung für die Deponiekrise an, beschrieben ‚abbaubare‘ Kunststoffprodukte aufgrund ihrer ‚reduzierten Leistungsmerkmale‘ als ‚unerwünscht‘ und behaupteten, dass ‚stärkegefüllte Kunststoffe‘, wenn sie auf Mülldeponien zerfallen, „excessive quantities of methane gas“ absondern würden, die das Grundwasser kontaminieren könnten. Im Gegensatz zur ‚Abbaubarkeit‘ sprachen sie sich für die Verbrennung und das mechanische Recycling als geeignete Lösung für die wachsende Menge an Verpackungsabfällen aus (Fritz 1987: 210).

Nicht nur Vertreter der amerikanischen Kunststoffindustrie äußerten sich kritisch gegenüber ‚abbaubaren Kunststoffen‘. Auf der gleichen Industriekonferenz positionierte sich auch der Vertreter des europäischen Kunststoffindustrieverbandes gegen ‚abbaubare Kunststoffe‘. Der Verband kritisierte die ‚voreiligen und unbegründeten‘ Gesetzgebungsverfahren, die ‚abbaubare Kunststoffe‘ als Material für die Herstellung von Verpackungen und Einwegprodukten vorschreiben sollten. Den verantwortlichen Politikern warf der Verband vor, dass diese Eingriffe

in Kunststoffmärkte auf einem mangelnden Wissen um das Konzept und die praktische Anwendbarkeit von ‚abbaubaren Kunststoffen‘ gründen würden (The Society of the Plastics Industry 1987: 4). Ebenso wie der amerikanische Kunststoffverband verteidigte auch sein europäischer Amtskollege die konventionellen Kunststoffe gegen das Konzept der ‚Abbaubarkeit‘. Der europäische Verbandsvertreter sah ‚Abbaubarkeit‘ allein schon deswegen kritisch, weil die meisten Kunststoffprodukte aus Sicherheitsgründen beständig und stabil sein müssten. Außerdem seien die zu diesem Zeitpunkt kommerziell erhältlichen Produkte keine Lösung für die Abfall- und Litterproblematik. Amerikanische und europäische Kunststoffhersteller waren sich einig, dass „degradable plastics are no replacement for existing materials in general applications, especially not packaging“ (o.A. 1990c: 10).

Zwar gestanden sie zu, dass es für spezielle Anwendungen möglicherweise gerechtfertigt sein könnte, ‚abbaubare Kunststoffe‘ zu entwickeln und zu produzieren. Dazu aber forderten die Vertreter der Kunststoffindustrie von den Herstellern ‚abbaubarer Kunststoffe‘, dass für solche ‚speziellen Anwendungen‘ technische Standards entwickelt werden müssten, mit denen die Leistung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ wissenschaftlich fundiert bestimmt werden könnte. So sollten die Hersteller den Abbauprozess und die Auswirkungen auf die Umwelt genauer spezifizieren und es sollten Testverfahren zur Qualitätskontrolle ‚abbaubarer Kunststoffe‘ eingeführt werden (The Society of the Plastics Industry 1987: 4).

Reaktion staatlicher Behörden

Angesichts der sich zuspitzenden Deponiekrise arbeiteten staatliche Behörden Ende der 1980er Jahre an der Entwicklung neuer abfallpolitischer Maßnahmen. In diesem Zusammenhang stellte sich auch hier die Frage, ob ‚abbaubare Kunststoffe‘ Teil einer neuen Abfallwirtschaft sein könnten. Während diese Stoffe in den 1970er Jahren von Polymerforschern wie Scott und Guillet noch primär als Lösung für das Litterproblem propagiert worden waren, konzentrierte sich die Prüfung der Stoffe durch staatliche Behörden jetzt vor allem auf die Frage, welchen Beitrag ‚abbaubare Kunststoffe‘ in der geordneten Abfallentsorgung leisten könnten. Genauer gesagt bezog sich die Prüfung auf das Verhalten der Stoffe auf Mülldeponien. In den USA beschäftigen sich z. B. die *Environmental Protection Agency* (EPA) und das *Office of Technology Assessment* (OTA) mit dem Potential und den Risiken der nun kommerziell erhältlichen Stoffe (Environmental Protection Agency 1990; Office of Technology Assessment 1989).

Dabei kamen die Wissenschaftler der staatlichen Behörden zum Schluss, dass ‚abbaubare Kunststoffe‘ kaum zu einer Lösung des Abfallproblems beitragen könnten und außerdem wesentliche Punkte – die tatsächlichen Abbaumechanismen und das ökologische Risiko ihrer Abbauprodukte – nicht ausreichend geklärt seien. Hinsichtlich der Frage, ob ‚abbaubare Kunststoffe‘ auf Mülldeponien tatsächlich abbauen würden, verwies ein Bericht des OTA beispielsweise auf erste Praxistests, die gezeigt hätten, dass es zu praktischen Schwierigkeiten beim ‚Abbau‘ von Produkten aus ‚fotochemisch abbaubaren Kunststoffen‘ gekommen sei und ernsthafte Zweifel an der Abbaufähigkeit der Produkte auf Mülldeponien beständen:

„Results of the first year pilot study in Nebraska raised questions about the rate of degradation of the bags and fate of color additives. (...) Preliminary tests of garbage bags made of a photo-initiated oxidation material showed that only bags of leaves on top of a pile began to degrade. It maybe difficult to ensure adequate exposure to UV prior to burial so the bags will continue to degrade once buried or landfilled“ (Office of Technology Assessment 1989: 183).

Abfallexperten wiesen außerdem darauf hin, dass der tatsächliche Abbau von Kunststoffen auf Mülldeponien eine wesentlich komplexere Angelegenheit sei, als von den Herstellern der Stoffe behauptet wurde. „Just because you make a material more degradable – by adding starch, for example, doesn’t mean you can predict the degradation rate. Even things that are easily biodegradable break down very slowly in landfills“ (Wilder 1989: 76). Der Abbau von chemischen Stoffen involviert eine Reihe von Umgebungsfaktoren wie Wärme, Feuchtigkeit oder Sauerstoff, die sich auf den abzubauenen Stoff auswirken. Da Mülldeponien jedoch gerade darauf angelegt sind, den Abfall von Feuchtigkeit oder Sauerstoff fern zu halten, weisen sie – selbst für Bioabfälle wie Brot, Hot Dogs oder Karotten – nur geringe Abbauraten auf (siehe Abb. 10). Die Umweltbehörde EPA bezog sich in ihrer Beurteilung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ auf entsprechende Studien, die gezeigt hatten, dass auf Mülldeponien *kaum* etwas tatsächlich ‚abbaut‘. Auch das Urteil der Umweltbehörde fiel daher negative aus: „Therefore, development of degradable plastics is expected to have very little impact on current capacity concerns“ (Environmental Protection Agency 1990: 84).

Abb. 10: Hot Dogs nach 10 Jahren auf einer Mülldeponie



Abgesehen vom Zweifel an der Nützlichkeit der Stoffe zur Lösung der sich abzeichnenden Deponiekrise wies die Umweltbehörde darauf hin, dass nicht ausreichend Praxisexperimente durchgeführt worden seien, um sicherzustellen, dass die Abbauprodukte der erhältlichen Stoffe selbst keine Umweltrisiken darstellen. Auch wies sie ähnlich wie die Industrie auf fehlende Standards hin, mit denen wissenschaftlich bestimmt werden könne, was unter einem Abbau von Kunststoffen genau zu verstehen sei. Die Umweltbehörde kritisierte, dass Kunststoffingenieure ‚Abbaubarkeit‘ bisher vor allem als Verlust von Festigkeit bzw. als Versprödung der Materialien gemessen hätten. Der Zerfall von Kunststoffen in kleinere Teile bedeute allerdings nicht, dass die Polymere auch tatsächlich vollständig verschwinden (ebd.: 77). Es stelle sich daher die Frage, was *genau* mit den Abbauprodukten der Kunststoffe geschehe, wenn sie erst einmal in kleinere Teile zerfielen. Überbleibsel von ‚abbaubaren Kunststoffen‘ in der freien Natur, die von Wildtieren verschluckt würden, könnten sich als noch größere Gefahr erweisen als nicht abgebauter Kunststoffmüll (ebd.: 82). Zwar ließ die Umweltbehörde, ähnlich wie die etablierte Kunststoffindustrie, grundsätzlich die Option offen, dass in speziellen Bereichen möglicherweise Anwendungen für ‚abbaubare Kunststoffe‘ gefunden werden könnten. Zusammenfassend folgerte die Behörde jedoch: „EPA does not believe that degradable plastics will help solve the landfill capacity problems facing many communities in the U.S.“ (ebd.: ES-9). Damit schloss sie ‚abbaubare

Kunststoffe‘ aus dem offiziellen abfallpolitischen Maßnahmenkatalog aus. An der Prüfung staatlicher Behörden waren die ‚abbaubaren Kunststoffe‘ also ebenfalls gescheitert.

Reaktion von Umweltschutzorganisationen

Verbraucher- und Umweltschutzorganisationen sind zentrale Intermediäre in Prozessen der Marktformierung für Produkte, die als Lösung für Umweltprobleme qualifiziert werden (Nessel 2016). Sie führen neue ökologische Bewertungsprinzipien ein und stellen Bewertungsinstrumente bereit, die es Konsumenten erleichtern, die Qualität von Produkten zu bestimmen und zu vergleichen. Außerdem nutzen sie „skandalisierende Kampagnen“ als Strategie, um das „Fehlverhalten“ von Unternehmen öffentlich anzuprangern, wobei sie sowohl auf die politische Regulation von Märkten abzielen als auch auf die Beeinflussung des Kaufverhaltens durch den Aufruf zum Konsumboykott von Produkten (ebd.: 249f.). Im Fall der ‚abbaubaren Kunststoffe‘ formierte sich Ende der 1980er Jahre nicht nur Widerstand in der etablierten Kunststoffindustrie und in den staatlichen Behörden, sondern auch auf der Seite großer international agierender Umweltschutzorganisationen wie *Greenpeace* oder *Friends of the Earth* (o.A. 1990c; Thayer 1990).

Während sich Umweltschützer zunächst eine Lösung von ‚abbaubaren Kunststoffen‘ erhofft und sich zum Teil sogar in Gesetzgebungsprozessen für ihren Einsatz in bestimmten Anwendungen wie Six-Pack-Halterungen oder Fischernetzen ausgesprochen hatten, mit dem Ziel, wildlebende Tiere zu schützen (Ebbert 1988), setzte sich in den 1980er Jahren vermehrt Zweifel an den ökologischen Absichten ihrer Produzenten durch. Vor allem der Markteintritt großer Agrarkonzerne wie *Archer Daniels Midland*, deren Interesse darin bestand, Absatzmärkte für Stärke zu finden, betrachteten Umweltschützer kritisch. Ein Vertreter des *Environmental Defense Funds* beschrieb den Einstellungswandel unter den Umweltschützern folgendermaßen:

„Archer Daniels Midland, with an interest in selling corn, decided it would latch onto the solid waste crisis ...and claim an environmental benefit at the same time (...). ADM and others started running advertising saying this was a solution not only to litter, and the small fraction of plastic that gets into marine environments, but that we could make plastic degrade and somehow extend the life of our landfills. That’s where I think things moved without a clear signal from the environmental community that this was a good idea (...) The marketing got way ahead of the science and I think a number of environmental groups stated quite clearly that more research needs to be done and that there are some unanswered questions“ (Thayer 1990: 9).

Angesichts der vielen wissenschaftlich ungeklärten Fragen führten Umweltorganisationen eigene Praxistests mit Produkten aus ‚abbaubaren Kunststoffen‘ durch, die allesamt negativ ausfielen. „We’ve tested products that don’t deliver as promised“ (o.A. 1989c: 26), berichtete zum Beispiel ein Wissenschaftler der *National Audobon Society*. Auch die Umweltschützer kamen zur Erkenntnis, dass die Herstellung tatsächlich abbaubarer Kunststoffprodukte weitaus schwieriger war, als von den Herstellern dieser Stoffe behauptet wurde (Wilder 1989: 77).

Der Widerstand der Umweltschützer gegen ‚abbaubare Kunststoffe‘ kulminierte, als sechs der größten Umweltschutzorganisationen der USA Ende 1989 gemeinsam zu einem Konsumboykott aufriefen. In ihrem Aufruf proklamierten sie, dass ‚abbaubare Kunststoffe‘ weder einen positiven Einfluss auf die überfüllten Deponien hätten, noch das Litterproblem lösen könnten, nicht vollständig ‚abbauten‘ und möglicherweise giftige Chemikalien und kleine Plastikteile in die Umwelt freisetzen würden. Sie bewerteten die am Markt erhältlichen ‚abbaubaren Kunststoffe‘ als *Greenwashing* (Manning 1989).

„‘Degradable is a warm and fuzzy word, like organic and natural’ said Richard A. Denison, a senior scientist at the EFC. ‘I consider this to be a consumer scam’, said Nancy A. Wolf, executive director of the Environmental Action Coalition. ‘People think it becomes soil, but it does not. We end up with shards of plastic’“ (Holusha 1989: 1).

Auch *Greenpeace* veröffentlichte unter der Leitung des prominenten Kunststoffkritikers Barry Commoner einen Bericht mit dem Titel *Breaking Down the Degradable Plastics Scam*, der zum Schluss kam, dass ‚abbaubare Kunststofftüten‘ als Konsumentenbetrug zu bewerten seien. Die Studie hatte herausgefunden, dass „environmental benefits of degradable bags are ‘unproven and probably negligible’“ (o.A. 1990a: 63). Auch *Greenpeace* und Barry Commoner kritisierte Unternehmen wie *Mobil Chemical* und *First Brands* dafür, dass die getesteten ‚biologisch abbaubaren Abfallbeutel‘ nicht in angemessener Zeit abbauen würden: „All the data indicates that the so-called biodegradable plastics are not biodegradable“ (Commoner in: CBS News 1990).

Damit fiel die Prüfung des ökologischen Werts ‚abbaubarer Kunststoffe‘ sowohl in der Kunststoffindustrie, in staatlichen Behörden und in Umweltorganisationen negativ aus. ‚Abbaubare Kunststoffe‘ waren also an ihrem eigenen Anspruch gescheitert. Was Hersteller als Abbaubarkeit angepriesen hatten, wurde vom Marktumfeld nicht als Abbaubarkeit akzeptiert. Anstatt tatsächlich von Mikroorganismen in einem angemessenen Zeitraum abgebaut zu werden, zerfielen sie nur in kleinere Fragmente, die als neues ökologisches Risiko bewertet wurden.

Als Reaktion auf die gescheiterte Prüfung der Stoffe verklagten sechs US-amerikanische Generalstaatsanwälte Unternehmen wegen falscher Produktbehauptungen, worauf hin diese die Vermarktung ihrer Produkte als ‚abbaubar‘ einstellen mussten (Attorney Generals of California 1990: 7; Holusha 1990a: 1). In der Folge entwickelte sich eine öffentliche Auseinandersetzung um wissenschaftlich nicht fundierte ökologische Wertversprechen, die in restriktivere Richtlinien und Regulationen für ‚abbaubare‘ Kunststoffe mündete. So veröffentlichte die *Federal Trade Commission* 1992 einen *Green Guide*, der Richtlinien für Unternehmen vorgab, die Vermarktung ‚abbaubarer‘ Kunststoffprodukte durch wissenschaftliche Belege zu untermauern (Barnett 1995). *Environmental Marketing* wurde jetzt auch in einigen Bundesstaaten gesetzlich reguliert (ebd.). Außerdem wurden auch Gesetzesverfahren, die ‚abbaubare‘ Kunststoffprodukte privilegiert hätten, wieder gestoppt (Attorney Generals of California 1990: 31).

Mit dem Scheitern ‚abbaubarer Kunststoffe‘ an der Prüfung ihrer Wertversprechen wurde die Marktdynamik also zunächst gedämpft. Während Marktprognosen Ende der 1980er Jahre noch hohe Wachstumsraten vorhergesagt hatten, äußerten sich Marktforscher im Jahr 1990 wesentlich pessimistischer. „In hindsight“, so beschreibt es ein Marktforscher in *Chemical & Engineering News*,

„even our most realistic [modell], which was the most pessimistic, (...) may now be too optimistic.’ A conclusion of the study is that degradable plastics may have some ‘short-term promotional or marketing value, particularly in battles over market share...but few [industry sources] saw it as an important product for the long pull’“ (Thayer 1990: 9).

6.3. Eine ‚neue Generation‘ biologisch abbaubarer Kunststoffe

In Anbetracht der negativen Bewertung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ durch zentrale Instanzen aus Industrie, Politik und Umweltschutz ließe sich annehmen, dass die Vision der (biologischen) Abbaubarkeit als Orientierungsrahmen für den Marktinnovationsprozess an Bedeutung verlor oder sogar ganz verschwand. Tatsächlich beobachten lässt sich allerdings, dass nur wenige Jahre später abermals der baldige Durchbruch biologisch abbaubarer Kunststoffe prognostiziert wurde. Wie schon Ende der 1980er Jahre waren in Industriemagazinen seit ca. 1992 aufs Neue Schlagzeilen zu lesen, wie „degradable plastics rising“ (o.A. 1992a: 45), „biodegradable polymers forge ahead“ (Steuteville 1993: 72), „the market is primed for biodegradable products“ (Lucas 1995: 37) oder „we are on the threshold of a global market for biodegradable polymers“ (Cannon 1995: 83). Mitte

der 1990er Jahre schien sich also trotz der Kontroverse abermals ein Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe zu entwickeln.

Wie ist es zu erklären, dass die Idee der (biologischen) Abbaubarkeit – nur kurz nachdem ‚abbaubare Kunststoffe‘ an der Prüfung ihrer Wertversprechen gescheitert waren – erneut mit großen Erwartungen verbunden wurde? Im Folgenden zeige ich, dass sich Unternehmen, die Ende der 1980er Jahre an der Entwicklung von neuen *Kunststoffen aus Pflanzen* arbeiteten, im Kontext der Kontroverse um ‚abbaubare Kunststoffe‘ profilieren und abgrenzen konnten und sich selbst als jene Unternehmen positionierten, die das Versprechen der biologischen Abbaubarkeit tatsächlich einlösen würden. Zwischen Anfang und Mitte der 1990er Jahre formierte sich im Zusammenspiel zwischen Produzenten, Kommentatoren in der Fachpresse und Marktforschern eine neue Produktkategorie, die der Vision der (biologischen) Abbaubarkeit erneut Überzeugungskraft verlieh.

Biobasierte Polymere: Neue Kandidaten im Rennen um die ‚grünen‘ Kunststoffe

Als Unternehmen wie *Archer Daniels Midland* oder *St. Lawrence Starch* versuchten, mit ‚abbaubaren Kunststoffen‘ etablierte Kunststoffhersteller herauszufordern, befanden sich biobasierte Kunststoffe wie PHB oder PLA noch in der Phase der Entwicklung. Da biobasierte Kunststoffe in den 1980er Jahren preislich nicht mit konventionellen Kunststoffen aus Erdöl konkurrieren konnten, versuchten Hersteller sie über die Produkteigenschaft der biologischen Abbaubarkeit zu vermarkten, und sie somit in der Nische des sich formierenden Markts für ‚abbaubare Kunststoffe‘ zu positionieren (siehe Kap. 5). Während ‚abbaubare Kunststoffe‘, an der Prüfung durch das Marktumfeld scheiterten, grenzten Wissenschaftler und Unternehmen biobasierte Kunststoffe von diesen problematischen Stoffen ab und bezogen sich dabei auf die öffentliche Kritik, die an diesen geäußert wurde.

Auf der Konferenz der amerikanischen Kunststoffindustrie im Jahr 1987 sprach zum Beispiel ein Vertreter von *Imperial Chemical Industries* über PHBV als ‚biologisch abbaubarem Kunststoff‘. Dabei präsentierte er das Polymer als „meeting the idealized requirements of a biodegradable thermoplastic“ und als Material, auf das ‚die Kritik, die normalerweise an biologisch abbaubaren Kunststoffen geübt würde‘, nicht zuträfe (Lloyd 1987: 21). Es müsse, so der *ICI*-Vertreter, deutlich unterschieden werden zwischen „the breakdown of a plastic object into small, dispersible, undegraded plastic fragments by the action of microorganisms on the fillers such as starch –

biodisintegration perhaps – and the true breakdown of the polymer to natural end-products which safely enter the eco-system“ (ebd.: 20). Während *Archer Daniels Midland* und *St. Lawrence Starch* ihre Produkte als biologisch abbaubar beworben hatten, unterschied Lloyd also zwischen „biodisintegration“, d. h dem Zerfall von Kunststoffen, und tatsächlicher „biodegradation“, die er dem Stoff PHBV zuschrieb. Im Gegensatz zu stärkegefülltem Polyethylen, das lediglich zerfalle, sei PHBV „completely and safely biodegradable“ (ebd.) und außerdem „not wasteful of finite natural resources“ (ebd.: 21).

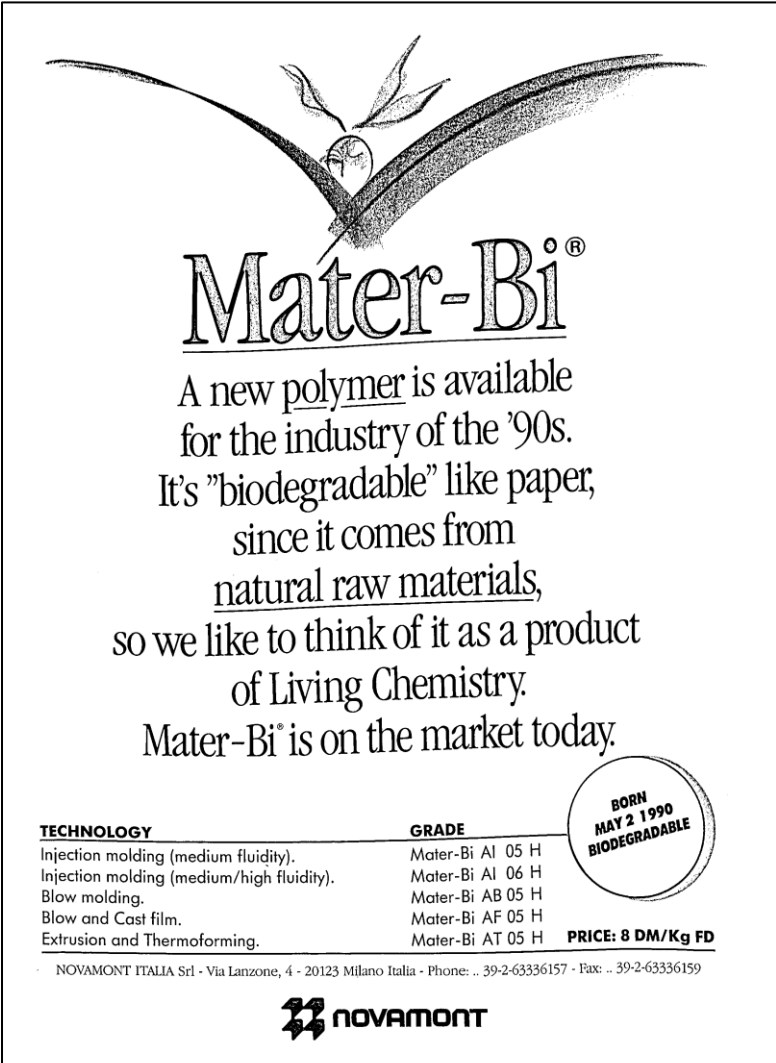
In einer öffentlichen Anhörung zu ‚abbaubaren Kunststoffen‘ vor dem US-Senat im Juli 1989 definierte ein Mitarbeiter des *Michigan Biotechnology Institutes* (MBI), dessen Forscher gemeinsam mit dem Agrarunternehmen *Cargill* an der Entwicklung von PLA arbeiteten, in ähnlicher Weise die eigene Innovationsstrategie als zukunftsweisend. Um Altes von Neuem zu unterscheiden, beschrieb er die zu diesem Zeitpunkt kommerziell erhältlichen ‚abbaubaren Kunststoffe‘ als „first generation plastics“ (Pincus, zit. in: US Senate 1989: 39), während die eigene Forschungsarbeit an PLA als Weg zu einer „second generation biodegradable plastics“ präsentiert wurde:

„We are developing processes that use bacteria and other microorganisms to produce components that will be used to manufacture second generation biodegradable plastics that can be used for disposable plastic bags and industrial food containers. (...) Polylactides and polyols utilize carboxylic acids, or substances derived from them. They provide a more biodegradable base for plastics products than do substances currently on the market. (...) The products we envision will not contain any petrochemically derived materials but will be organic matter that has the potential to biodegrade“ (ebd.: 40).

Neben der Entwicklung von PHBV und PLA meldeten außerdem weitere Unternehmen, dass sie demnächst stärkebasierte Kunststoffe einführen würden, die sich ebenfalls von den in Kritik geratenen ersten ‚abbaubaren Kunststoffen‘ unterscheiden würden. Während die ‚abbaubaren Kunststoffe‘ der ersten Generation lediglich aus 6 Prozent Stärke bestanden, die mit konventionellen Kunststoffen wie Polyethylen gemischt wurde, sollten diese neuen, jetzt in der Entwicklungsphase befindlichen Stärkekunststoffe zu mehr als 50 Prozent aus Stärke und einem restlichen Anteil petrochemischer Stoffe bestehen, der aber ebenfalls biologisch abbaubar sein würde. Beispielsweise kündigte der italienische Mischkonzern *Feruzzi-Montedison* (später in Form des Unternehmens *Novamont*) den biologisch abbaubaren Kunststoff *Mater-Bi* an, der zwar ebenfalls Stärke und petrochemische Rohstoffe enthielt, bei dem es sich aber um eine ‚Legierung‘ und nicht um eine bloße Mischung von Stärke und konventionellem Kunststoff handele (o.A.

1989d: 7). Ab 1990 war das Material kommerziell erhältlich und wurde von Novamont als „biodegradable like paper since it comes from natural raw materials“ (siehe Abb. 11) beworben. Der US-amerikanische Pharmakonzern *Warner Lambert* kündigte 1990 ebenfalls einen stärkebasierten Kunststoff an, der zu 100% „starch-based“ sei und damit ebenfalls die Kritik an bisherigen stärke-basierten abbaubaren Kunststoffen entschärfen könnte: „that only the starch component decomposes in any reasonable length of time, leaving a lacelike polyolefin structure that persists in landfills“ (o.A. 1990b: 25).

Abb. 11: Werbeanzeige „Mater-Bi“, 1990



Mater-Bi[®]

A new polymer is available
for the industry of the '90s.
It's "biodegradable" like paper,
since it comes from
natural raw materials,
so we like to think of it as a product
of Living Chemistry.
Mater-Bi[®] is on the market today.

TECHNOLOGY	GRADE
Injection molding (medium fluidity).	Mater-Bi AI 05 H
Injection molding (medium/high fluidity).	Mater-Bi AI 06 H
Blow molding.	Mater-Bi AB 05 H
Blow and Cast film.	Mater-Bi AF 05 H
Extrusion and Thermoforming.	Mater-Bi AT 05 H

PRICE: 8 DM/Kg FD

NOVAMONT ITALIA Srl - Via Lanzone, 4 - 20123 Milano Italia - Phone: .. 39-2-63336157 - Fax: .. 39-2-63336159

NOVAMONT

Unternehmen, die an Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen arbeiteten, und in den entstehenden Markt einsteigen wollten, konnten die Kontroverse um die ersten ‚abbaubaren Kunststoffe‘ also dazu nutzen, um sich von Konkurrenten wie *Archer Daniels Midland* und *St. Lawrence Starch* zu

differenzieren und eine neue Richtung für die Entwicklung ‚grüner‘ Kunststoffe vorzugeben, die in Zukunft beide Produkteigenschaften – Biobasiertheit und biologische Abbaubarkeit – miteinander verbinden sollten.

Kategorisierungsprozesse im Kontext der Kontroverse um ‚abbaubare Kunststoffe‘

Diese einzelnen, zunächst unabhängig voneinander stattfindenden Innovationsprojekte, die darauf abzielten, Kunststoffe sowohl aus pflanzlichen Rohstoffen herzustellen *und* biologisch abbaubar zu machen, wurden in der Fachberichterstattung als Teil einer sich neu formierenden Produktkategorie interpretiert und zusammengefasst (Baker 1993; J. Evans und Sikar 1990; Lindsay 1992; o.A. 1989d; Thayer 1990: 12f.). Während bis in die späten 1980er Jahre zwischen zwei Kategorien ‚abbaubarer Kunststoffe‘ – den so genannten ‚fotochemisch abbaubaren‘ und den ‚biologisch abbaubaren Kunststoffen‘ – unterschieden wurde, aktivierte die Kontroverse Ende der 1980er Jahre neue Kategorisierungsprozesse.

Obwohl biobasierte Kunststoffe, wie ich in den Kapiteln 4 und 5 gezeigt habe, eine wesentlich längere Geschichte als die Vision der (biologischen) Abbaubarkeit haben, wurden Kunststoffe aus Pflanzen jetzt auch in der Fachpresse als eine ‚neue Generation‘ biologisch abbaubarer Kunststoffe interpretiert. Damit brachten sie ihre Erwartungen an die zukünftige Entwicklung des Marktes zum Ausdruck (Steuteville 1993). Die Einteilung von Technologien in aufeinanderfolgende Generationen gilt in der Erwartungssoziologie als rhetorisches Mittel, um eine natürliche Gesetzmäßigkeit von Innovationsprozessen zu suggerieren, und in der Öffentlichkeit Legitimität für deren Fortschreiten in Richtung einer kontinuierlichen Verbesserung zu schaffen (Joly 2010: 23). Dabei zeigt der Fall ‚grüner‘ Kunststoffe, dass mit der Unterscheidung verschiedener Generationen nicht nur Abfolgen technologischer Entwicklungen dargestellt werden. Vielmehr dienen solche Kategorisierungsprozesse auch zur Differenzierung von Produkten in neu entstehenden Märkten.

PLA, PHBV und die neuen Stärkekunststoffe wurden in der Fachpresse häufig gemeinsam thematisiert, von der ‚ersten Generation‘ abgegrenzt und mit Kategorienlabels wie „inherently degradable“ (o.A. 1990c: 16) „truly degradable“ (Lindsay 1992) oder „selbstabbaubar“ (o.A. 1992b: 268) zusammengefasst. Während die ‚abbaubaren Kunststoffe‘ der ersten Generation jetzt mit dem Kategorienlabel der „pseudo-abbaubare[n]“ Kunststoffe (Jopski 1993: 749) diskreditiert wurden, versprach diese ‚neue Generation‘ von Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffe also

tatsächliche biologische Abbaubarkeit und somit „fewer concerns about their environmental fate“ (Thayer 1990: 13). Waren die ersten ‚abbaubaren Kunststoffe‘ an ihrem eigenen Anspruch gescheitert, weckte die ‚neue Generation‘ abermals die Hoffnung, dass Kunststoffe in Zukunft doch mit dem Prinzip des natürlichen Kreislaufs in Einklang gebracht werden könnten.

Somit interpretierte auch die Fachpresse Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen als neue Kandidaten im ‚Rennen um die ‚grünsten‘ Kunststoffe‘ (o.A. 1989d: 7). Dabei wurde ‚grün‘ weiterhin mit der Regulation des Abfallproblems gleichgesetzt: „Plastics that not only biodegrade, but are also produced from renewable biological sources“ seien „the latest twist in the debate on plastic waste“ (ebd.). Da zu ihrer Herstellung aber nachwachsende Rohstoffe verwendet wurden, weiteten die Kommentatoren das ökologische Wertversprechen der neuen Stoffe aus. Nicht nur handele es sich um ‚tatsächlich‘ abbaubare Kunststoffe. Zudem würden sie „the use of limited petroleum resources“ (Thayer 1990: 13) vermeiden.

Die ‚grünen‘ Kunststoffe der Zukunft sollten also nun dem Prinzip ‚aus der Natur, zurück in die Natur‘ folgen. Die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit wurde in der Öffentlichkeit in den frühen 1990er Jahren dementsprechend häufig in einen *inhärenten* Zusammenhang mit pflanzlichen Rohstoffen gebracht, obwohl es sich dabei um grundlegend unterschiedliche Aspekte eines Kunststoffes handelt. Das macht z. B. ein Artikel in der *New York Times* deutlich, der unter der Überschrift *Toward a sustainable future* über die neuen Innovationsstrategien im nun entstehenden Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe berichtete.

„Products derived from these materials [sugar and starch] could ease the pressure on oil supplies if prices soar. And they have the useful property of degrading into benign components quickly and completely after use. This is a departure from earlier efforts to make plastics appear more ‘environmentally friendly’ by mixing the non-degradable basic polymer with small amounts of materials that react to sunlight or microbes in the soil. All this does, many environmentalists have argued, is produce smaller pieces of persistent plastic. The problem is that many of the synthetic molecules that are strung together into polymer chains to make conventional plastics are not found in nature, and thus few organisms have adapted to feed on them. But when plastics are formed from materials found in living plants, they become an easily digestible food source for microorganisms in the soil“ (Holusha 1990b: 9).

Neben der öffentlichen und industriespezifischen Berichterstattung trugen abermals auch Marktanalysten zur Konstruktion der neuen Kategorie und ihrer Interpretation als aussichtsreiche Innovationsstrategie bei. *Frost & Sullivan* veröffentlichte im Jahr 1992 eine neue Marktprognose, in der die Analysten dem Markt trotz der Kontroverse Ende der 1980er Jahre ein „explosionsartiges“ Wachstum vorhersagten. Dabei erwarteten sie, dass dieses explosionsartige

Wachstum vor allem von der neuen Produktkategorie der „selbstabbaubaren Werkstoffe“ ausgehen würde, während die Kategorie der „biologisch abbaubaren Additive“ nur wenig wachsen, die Kategorie der „fotochemisch abbaubaren Additive“ sogar schrumpfen würde (o.A. 1992b: 268). Der neue „Produkttyp“ der „selbstabbaubaren Kunststoffe“ sollte nach ihrer Prognose nun gewissermaßen aus dem Nichts bereits im Jahr 1995 einen Umsatz von 143,8 Millionen Dollar generieren (ebd.).

Die hier skizzierte Entwicklung zwischen der Kontroverse um ‚abbaubare Kunststoffe‘ in den späten 1980er Jahren und dem beginnenden *zweiten* Anlauf, einen Markt mit einer ‚neuen Generation‘ biologisch abbaubarer Kunststoffe aufzubauen, macht deutlich, dass gerade im Moment des Scheiterns ein Ausgangspunkt für neue Dynamik in Marktinnovationsprozessen liegt. Als die ersten Marktschaffungsversuche mit ‚abbaubaren Kunststoffen‘ am Übergang von den 1980er zu den 1990er Jahren an der Prüfung durch das Marktumfeld gescheitert waren, setzte eine Auseinandersetzung darüber ein, welche Stoffe auf dem zukünftigen Markt gehandelt werden würden und welche Eigenschaften diese Stoffe haben sollten. Zwar hatte die Idee der (biologischen) Abbaubarkeit durch die ‚erste Generation‘ an Legitimität verloren. Dennoch brachte die Kritik an diesen Stoffen die *Vision an sich* nicht zum Verschwinden. Vielmehr bot die Kontroverse Unternehmen, die an der Entwicklung von Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen arbeiteten, eine Abgrenzungsfolie, um sich von ihren Konkurrenten zu differenzieren, ihre eigenen Innovationsstrategien als zukunftsweisend zu präsentieren und dabei das ökologische Wertversprechen der biologischen Abbaubarkeit mit neuen Hoffnungen zu füllen. Einzelne Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen gewannen ihren Status als Verheißungsobjekte also nicht nur aus der allmählichen Neubewertung ihres Marktpotentials im Kontext neuer Zukunftsnarrative um nachwachsende Rohstoffe, sondern ebenfalls durch Kategorisierungsprozesse, die im Kontext erster kontroverser Implementationsversuche die Gegenwart von der Zukunft des nun entstehenden Marktes unterschieden.

Dabei erkannten sich die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe zunehmend auch selbst als Teil einer neuen Branche. Während Innovationsprozesse bis dahin weitestgehend unabhängig voneinander stattfanden, begannen Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe in den 1990er Jahren miteinander zu kooperieren und durch die Entwicklung von Industrienormen und Zertifizierungsverfahren zu bestimmen, welche Stoffe in die sich nun formierende Produktkategorie eingeschlossen werden sollten. Ziel der Hersteller war es, „to ‘start getting some

reliability into what is really meant by the words degradation, photodegradation, and biodegradation’“ (Narayan, zit. in: Thayer 1990: 14). So wurde beispielsweise auf einer Konferenz, die verschiedene Unternehmen aus Europa, Nordamerika und Asien zusammenbrachte, die *International Biodegradable Products Association* und das sogenannte *The Degradables Forum* gegründet, um technische Informationen auszutauschen und gemeinsam an der Internationalisierung von technischen Normen und Prüfverfahren zu arbeiten (Cannon 1995: 83). Isolierte Innovationsprozesse einzelner Unternehmen gingen nun zunehmend in eine konzertierte internationale Bewegung über „to make biodegradable polymers a reality“ (ebd.).

Die Kontroverse um die erste Generation ‚abbaubarer Kunststoffe‘ hatte den neuen Produzenten außerdem deutlich gemacht, dass sich das Wertversprechen biologisch abbaubarer Kunststoffe als Beitrag zur Lösung der Deponiekrise nur dann realisieren lassen würde, wenn die Stoffe in die geordnete Abfallentsorgungswirtschaft eingebettet werden könnten. Abfallexperten hatten allerdings gezeigt, dass auf Mülldeponien selbst Bioabfall nicht wirklich abbaut. Auf Mülldeponien würden somit auch die *tatsächlich* biologisch abbaubaren Kunststoffe der zweiten Generation keinen Unterschied zu konventionellen Kunststoffen machen. Damit war klar, dass die Einführung biologisch abbaubarer Kunststoffprodukte nur dort wirklich gelingen könnte, wo es auch eine öffentliche Infrastruktur für die Sammlung und Verwertung von Bioabfall gäbe. In den USA war dies in den 1990er Jahren nicht der Fall. Daher hofften die Unternehmen auf einen Durchbruch der ‚neuen Generation‘ in Europa, denn in Ländern wie Deutschland, Österreich oder Belgien wurden zu diesem Zeitpunkt Infrastrukturen für die industrielle Kompostierung von Bioabfall aufgebaut. Besonders große Erwartungen hatten die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe dabei an Deutschland. Für Deutschland erwarteten die Marktanalysten von *Frost & Sullivan* das größte Wachstum in Europa überhaupt (o.A. 1992b: 268). Das nächste Kapitel wird diesen Erwartungen der Hersteller und Marktanalysten folgen und sich ausführlich mit dem Versuch auseinandersetzen, in Deutschland eine neue Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen aufzubauen. Der Marktinnovationsprozess ging jetzt in seine zweite Phase.

6.4. Zwischenfazit

Im vorangegangenen Kapitel habe ich die erste Sequenz im Marktinnovationsprozess analysiert, als es Unternehmen in den 1980er Jahren erstmals gelang, mit ‚abbaubaren Kunststoffen‘

Marktanteile in etablierten Kunststoffmärkten zu erobern. Zunächst habe ich die Frage untersucht, warum Technologien, die in den 1970er Jahren von Kunststoffanwendern abgelehnt wurden, in den 1980er Jahren Dynamik in Kunststoffmärkten erzeugen konnten (6.1.). Ich habe gezeigt, dass diese einsetzende Marktdynamik in Richtung Abbaubarkeit auf den tatsächlich stattfindenden oder antizipierten Wandel der institutionellen Einbettung von Kunststoffmärkten im Kontext einer neuen Krisenwahrnehmung zurückzuführen ist. Kunststoffe wurden jetzt nicht mehr nur als ökologisches Problem in der freien Natur kritisiert, sondern entwickelten sich zu einem Problem der geordneten Abfallentsorgung. In diesem neuen Krisenkontext konnte die Vision der Abbaubarkeit von Politikern reaktiviert werden, die nach einer schnellen Lösung für die Deponiekrise suchten.

In Kapitel 6.2. habe ich mich mit den Reaktionen des Marktumfelds auf die Einführung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ auseinandergesetzt. Ich bin hier der These gefolgt, dass technologische Innovationen zunächst nur Wertversprechen sind, die von Nachfragern, staatlichen Behörden und der Öffentlichkeit akzeptiert und legitimiert werden müssen, damit sie erfolgreich implementiert werden können. Innovationen, die ein kollektives Wertversprechen wie Umweltfreundlichkeit transportieren, werden auch öffentlich auf ihre Legitimität hin überprüft. Die Prüfung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ am Übergang von den 1980er zu den 1990er Jahren fiel in der etablierten Kunststoffindustrie, in staatlichen Behörden und in Umweltschutzorganisationen negativ aus. Alle Akteure lehnten ‚abbaubare Kunststoffe‘ als Beitrag zur Lösung der Deponiekrise ab. Während Unternehmen ihre Produkte als ‚abbaubar‘ vermarkteten, hatte die Prüfung ergeben, dass diese nur in kleinere Kunststofffragmente zerfielen.

In Kapitel 6.3. habe ich mich mit den Folgen der Kontroverse um ‚abbaubare Kunststoffe‘ auseinandergesetzt. Dabei bin ich der Annahme gefolgt, dass die Reaktionen des Marktumfelds Einfluss auf die Richtung von Marktinnovationsprozessen nehmen. Ich habe gezeigt, dass das Scheitern der ‚abbaubaren Kunststoffe‘ an der Prüfung durch das Marktumfeld die Vision der (biologischen) Abbaubarkeit an sich nicht zum Verschwinden brachte. Vielmehr konnten sich Unternehmen im Kontext der Kontroverse auf die Kritik an der ersten Generation ‚abbaubarer Kunststoffe‘ beziehen, um ihre eigenen Innovationsstrategien zu differenzieren und als zukunftsweisend darzustellen. Hersteller von biobasierten Kunststoffen wie PHBV, PLA oder Stärkeblends, die sich zu diesem Zeitpunkt noch in der Entwicklung befanden, positionierten ihre Innovationsstrategien nun als tatsächliche Einlösung der Vision der biologischen Abbaubarkeit. So

konnten sie einerseits den Marktinnovationsprozess fortführen und ihn andererseits in eine neue Richtung lenken.

7. Von großen Hoffnungen zu „gelähmten Märkten“ in Deutschland

In den 1990er und 2000er Jahren wurden die Stoffe der ‚neuen Generation‘ erstmals auf den Markt gebracht. Dabei war Deutschland eines der ersten Länder, in dem die Hersteller versuchten, einen Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe aufzubauen. Sie erwarteten hier einen Durchbruch, weil abfallpolitische Themen angesichts stetig wachsender Abfallmengen Hochkonjunktur hatten, allmählich eine neue Infrastruktur zur Wiederverwertung von Bioabfällen entstand, das duale System zur Entsorgung von Verpackungen eingeführt wurde, und sie den deutschen Verbraucher generell als besonders umweltbewusst und somit als empfänglich für ihr ökologisches Wertversprechen imaginierten. Unter Herstellern herrschte die Erwartung, dass „[w]enn es passiert, dann passiert es in Deutschland. Ihr seid die Umweltapostel, ihr habt das alles entwickelt, ihr habt das duale System (...). Da wird es gehen“ (Interview K).

Die Einführung biologisch abbaubarer Kunststoffe war zu Beginn mit der Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen verknüpft. In dieser Kreislaufwirtschaft sollten nachwachsende Rohstoffe zur Herstellung von Kunststoffen zum Einsatz kommen, die dann zu kompostierbaren Verpackungen verarbeitet würden, die nach ihrem Einsatz als Abfall in Kompostanlagen entsorgt werden könnten und so als Kompost wiederum auf die Felder der Landwirtschaft gelangen würden. Vor allem zwischen den 1990er Jahren und den frühen 2000er Jahren zielten die Marktschaffungsversuche primär darauf ab, Kunststoffe und daraus hergestellte Verpackungen kompostierbar zu gestalten und in den Entsorgungsweg der Kompostierung zu integrieren (Interview K). Einige Produktbeispiele aus den 1990er Jahren zeigen, wo man mit biologisch abbaubaren Kunststoffen hinwollte. So brachte z. B. der Kosmetikhersteller *Wella* im Jahr 1990 eine ‚kompostierbare Shampoo-Flasche‘ aus PHBV auf den Markt. Und *Danone* führte 1998 einen ersten ‚kompostierbaren Joghurtbecher‘ aus PLA ein (siehe Abb. 12).

Abb. 12: Kompostierbare Verpackungen, 1990er Jahre



Allein der Blick in die deutschen Supermarktregale von heute offenbart, dass sich diese Vision nicht erfüllt hat. Gemessen an den hohen Erwartungen der Anfangszeit ist der Aufbau eines Marktes für biologisch abbaubare Kunststoffe in Deutschland – zumindest aus aktueller Perspektive – nur zum Teil gelungen. Der deutsche Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe läuft derzeit, wie meine Interviewpartner erklärten, „auf bescheidenem Niveau“ (Interview I). Im Grunde hat in Deutschland nur ein Produkt eine größere kommerzielle Relevanz – der kompostierbare Abfallbeutel zur Sammlung von Biomüll (Brunk, zit. in: Wollstadt und Gander 2016). Und selbst dieses Produkt ist umstritten; ein Drittel der Kommunen untersagt ihren Bürgern explizit die Nutzung solcher Abfallbeutel aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. Angesichts dieser Entwicklung kommt ein Berater der Branche zu folgendem Urteil: „Der deutsche Markt ist tot, zumindest stark gelähmt“ (Käb, zit. in: Wiemker 2016).

In diesem Kapitel rekonstruiere ich also die Entwicklung von der anfänglichen Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen zu ‚gelähmten Märkten‘. Der Untersuchungszeitraum umfasst die Phase von den frühen 1990er Jahren bis zum Anfang der 2010er Jahre und konzentriert sich auf die Frage, weshalb der Aufbau eines Marktes für biologisch abbaubare Kunststoffe nur auf sehr geringem Niveau gelungen ist. Welche Faktoren trugen dazu

bei, dass die Hersteller der neuen Generation biologisch abbaubarer Kunststoffe den anfänglich anvisierten Markt nicht stabilisieren konnten?¹⁴

Um zunächst ein grundlegendes Verständnis für die Ausgangslage der Marktentwicklung in Deutschland zu schaffen, möchte ich in einem ersten Abschnitt (7.1.) kurz auf den politischen Kontext, die Hersteller und Stoffe und die besonderen Anforderungen der Marktschaffung in dieser Sequenz des Marktinnovationsprozesses eingehen. Vor allem erforderte der Aufbau einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen die Einbettung biologisch abbaubarer Kunststoffe in die deutsche Entsorgungswirtschaft. Im Gegensatz zu den 1980er Jahren zeichneten sich die Marktschaffungsversuche in dieser Phase also dadurch aus, dass die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe gemeinsam versuchten, den Markt durch die Entwicklung von Industrienormen und Prüfverfahren für Kompostierbarkeit zu stabilisieren und so die Stoffe in die Abfallentsorgungsschiene der Kompostierung zu implementieren.

Im Anschluss daran arbeite ich nacheinander drei Konfliktkonstellationen heraus, die dazu beitragen, dass die Stabilisierung des anvisierten Marktes nicht bzw. kaum gelang. Kapitel 7.2. widmet sich dem Faktor *Konkurrenz*. Ich frage, welchen Einfluss die Institutionalisierung des Recyclings in Deutschland seit Anfang der 1990er Jahre auf die Marktschaffungsversuche der Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe nahm. Kapitel 7.3. widmet sich dem Faktor *Kooperation*. Um ihr Wertversprechen der biologischen Abbaubarkeit zu realisieren, waren Hersteller und Anwender von biologisch abbaubaren Kunststoffen auf die Kooperation mit Kommunen und Kompostanlagenbetreiber angewiesen. Wie reagierte die Kompostwirtschaft auf die Vision kompostierbarer Verpackungen? Kapitel 7.4. widmet sich dem Faktor *Legitimität* und der Bewertung biologisch abbaubarer Kunststoffe durch den Umweltschutz. Zu welchem Urteil

¹⁴ Zur Beantwortung dieser Fragen stütze ich mich in diesem Kapitel vor allem auf Interviews mit Herstellern und Experten der Branche. Zu meinen Interviewpartnern zählen Mitarbeiter von Herstellern biologisch abbaubarer Kunststoffe, Vertreter des Branchenverbands IBAW e.V. und Mitarbeiter von Entsorgungsdienstleistern, die bereits seit den 1990er Jahren in der Branche aktiv sind und daher einen Einblick in den hier untersuchten Entwicklungsprozess geben können. Zusätzlich ziehe ich eine Reihe von Dokumenten als Quellen heran. Dazu gehören frühe Publikationen und Konferenzberichte zu biologisch abbaubaren Kunststoffen (z. B. Konferenzberichte des Süddeutschen Kunststoffzentrums, ein Bericht zur Konferenz *Verpackung mehr als Müll* (1991), eines der ersten Bücher zu *Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen* von Karin Westermann (1994), das eine Reihe von Positionen unterschiedlicher Akteure zu biologisch abbaubaren Kunststoffen enthält, Stellungnahmen von Verbänden der Recycling- und Kompostwirtschaft, ein Bericht der Expertenkommission, die vom niedersächsischen Umweltministerium eingesetzt wurde, um das Potential biologisch abbaubarer Kunststoffe zu bewerten (1999), Stellungnahmen von Umweltverbänden und vom Umweltbundesamt und Ökobilanzstudien, in denen Ökoinstitute die ökologische Wertigkeit von kompostierbaren Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen beurteilten.

kam also der organisierte Umweltschutz in Deutschland über die neuen biologisch abbaubaren Kunststoffe und die Idee einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen?

7.1. Eine neue Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen

Die wachsende Menge an Haushaltsabfällen hatte sich auch in Deutschland zu einem Kernproblem der Umweltpolitik entwickelt. Insbesondere der steigende Anteil an Verpackungen im Hausmüll stellte die deutsche Abfallentsorgung vor Herausforderungen. So bestand im Jahr 1990 nach Volumen bereits 50 Prozent des Hausmülls und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle aus Verpackungen, die größtenteils auf den Mülldeponien der entsorgungspflichtigen Kommunen ihr Lebensende fanden (Seifert 2011: 89). Wie in anderen westlichen Ländern drohte auch in Deutschland eine baldige Erschöpfung der Deponiekapazitäten und die Politik suchte auch hier nach neuen Lösungen für den Umgang mit Verpackungsabfällen. Um dem Abfallproblem Herr zu werden, traf die Bundesregierung zunächst freiwillige Zielfestlegungen mit Herstellern und Vertreibern von Verpackungen. Da Kunststoffe volumenmäßig bereits einen großen Anteil am Verpackungsmüll ausmachten, richtete sich eine dieser Zielfestlegungen auf die „Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Abfällen aus Verkaufsverpackungen aus Kunststoff für Nahrungs- und Genussmittel sowie Konsumgüter“ (ebd.: 91). Anders als in den USA oder Italien gab es in Deutschland zwar kein Gesetz, dass biologisch abbaubare Kunststoffe vorschrieb. In ihrer Zielfestlegung forderte die Bundesregierung von der Industrie aber ebenfalls für den Verpackungsbereich „Kunststoffe zu entwickeln und einzusetzen, die aufgrund ihrer biologischen Abbaubarkeit umweltverträglich kompostiert werden können“ (zit. in: Bertram 2016: 523).

Die politische Forderung nach Verpackungen, die kompostiert werden sollten, bestärkte Unternehmen, die zu diesem Zeitpunkt an der Entwicklung biologisch abbaubarer Kunststoffe arbeiteten, darin, in Deutschland einen Markt für ihre Innovationen aufzubauen. Dazu gehörten auf der einen Seite Hersteller von Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen, die Anfang der 1990er als ‚neue Generation‘ biologisch abbaubarer Kunststoffe gehandelt worden waren, also z. B. die Unternehmen *Zeneca* (vormals *ICI*), *Novamont*, *Warner Lambert*, *Cargill-Dow* oder *Biotec*. In den 1990er Jahren führten zudem auch traditionelle Kunststoffhersteller wie *Bayer*, *Eastman Chemical*, *Showa Denko* oder *BASF* biologisch abbaubare Kunststoffe aus petrochemischen Rohstoffen ein, die ebenfalls zur neuen Produktkategorie der biologisch abbaubaren bzw. kompostierbaren Kunststoffe gerechnet wurden. Biologisch abbaubare Kunststoffe auf petrochemischer Basis machten es zum Teil überhaupt erst möglich, kompostierbare Produkte herzustellen, die in ihren

physischen Eigenschaften mit traditionellen Kunststoffprodukten vergleichbar waren. Häufig wurden kompostierbare Produkte durch eine Mischung von pflanzlichen und petrochemischen Polymeren hergestellt, um die biologische Abbaubarkeit mit der notwendigen Leistungsfähigkeit während der Nutzenphase des Produkts vereinbaren zu können.

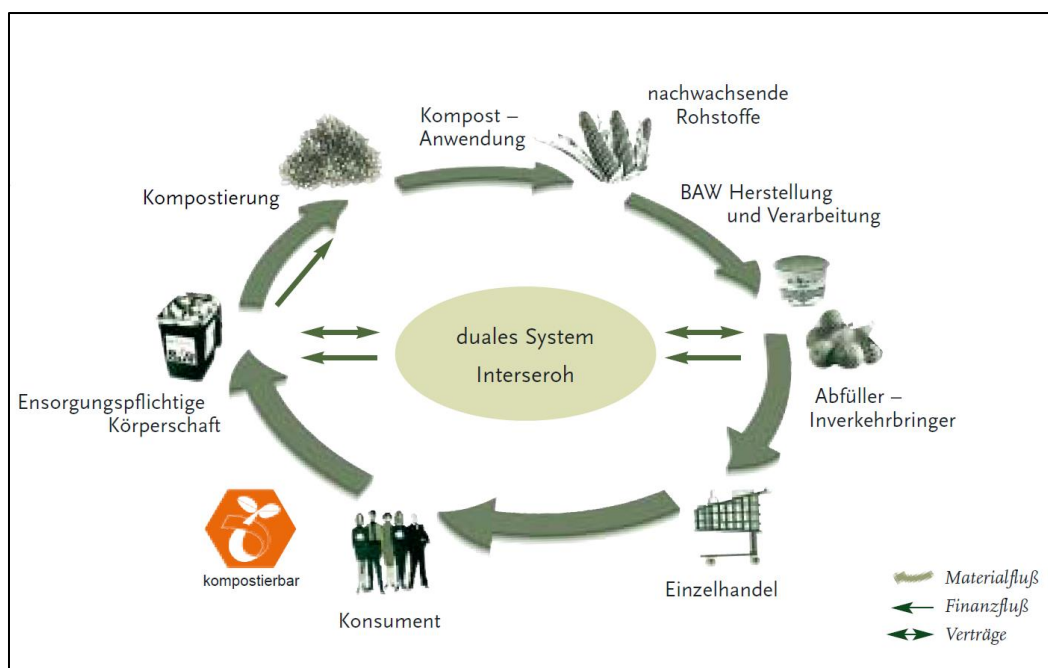
Obwohl Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen also meistens auch petrochemische Anteile besaßen, bildete auch in Deutschland die staatliche Förderung nachwachsender Rohstoffe den politischen Rahmen der Marktentwicklung (K. Westermann 1994). Insbesondere die bayrische Landesregierung nahm eine Vorreiterposition bei der Förderung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland ein. 1992 gründete sich z. B. in Bayern das *Centrale Agrar-, Rohstoff-, Marketing- und Entwicklungsnetzwerk* (C.A.R.M.E.N), eine Koordinationsstelle zwischen staatlichen und privatwirtschaftlichen Akteuren auf dem Gebiet nachwachsender Rohstoffe (ebd.: 78). Nach bayrischem Vorbild rief die Bundesregierung im Jahr 1993 die *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe* (FNR) unter Federführung des *Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft* (BMEL) ins Leben. Diese übernahm sowohl die Koordination der staatlichen Fördergelder für Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich nachwachsender Rohstoffe und engagierte sich außerdem in der Konzeption und Entwicklung neuer Produktlinien (ebd.: 73). Zu diesen neuen Produktlinien gehörten auch biologisch abbaubare Kunststoffe.

Beim Aufbau des Marktes für diese neue Produktlinie wurde, anders als in den 1980er Jahren, versucht, die Stoffe in die geordnete Abfallentsorgung der Kompostierung einzubetten. Anfang der 2000er Jahre organisierten die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe gemeinsam mit der *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe* ein großes Modellprojekt in Kassel, mit dem Zweifel an der Realisierbarkeit der Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen ausgeräumt werden sollten. An diesem Modellversuch lässt sich deutlich machen, wie sich die Hersteller die Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen vorstellten und was für den Aufbau eines Marktes für biologisch abbaubare Kunststoffe geleistet werden musste. So wurde in Kassel im begrenzten Rahmen des Stadtgebiets eine Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen über mehrere Jahre getestet, mit dem Ziel, sie anschließend auf ganz Deutschland auszudehnen. Dazu mussten alle relevanten Akteure der angestrebten Wertschöpfungskette – die Hersteller von Verpackungen, die Abfüller- und Inverkehrbringer von Verpackungen, der Einzelhandel, die Konsumenten und letztlich die entsorgungspflichtigen Körperschaften und deren angeschlossene Kompostanlagenbetreiber – mobilisiert werden. Die idealisierte Vision, die hinter

dem Projekt stand, bringt ein Zitat der Umweltkoordinatorin des Projekts auf den Punkt. In Abbildung 13 ist die Vision bildlich veranschaulicht:

„Was mich fasziniert, ist die Tatsache, dass man aus nachwachsenden Rohstoffen wie Mais, Kartoffeln und Zuckerrüben Verpackungen herstellen kann, die die gleichen Eigenschaften und die gleiche Funktionalität aufweisen, wie herkömmliche Kunststoffe auf Rohölbasis. Dieses Kreislaufsystem, dass man vom Feld die Frucht zu einer Verpackung verarbeitet und diese Verpackung über die Kompostierung wieder zum Feld hinkommt, das ist das, wo wir hinmüssen. Und das ist faszinierend. Das ist Kreislaufwirtschaft par excellence“ (Giesa, zit. in: Mackwitz und Stadlbauer 2001: o. S.).

Abb. 13: Modell des dualen Systems für kompostierbare Verpackungen, Modellprojekt Kassel



Um in Kassel im Kleinen zu realisieren, was im Großen imaginiert wurde, führten Kasseler Einzelhändler wie *Rewe* und *Edeka* ca. ein Dutzend Verpackungen und Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen ein – z. B. Verpackungen für Kekse, Windeln, Butter, Paprika, Tragetaschen, Obst- und Gemüsebeutel, Einwegbesteck und Trinkbecher. Diese sollten nach der Nutzung durch den Verbraucher in der Bioabfalltonne entsorgt werden und endeten schließlich im *Kompostwerk Göttingen*, wo sie mit den restlichen Bioabfällen zu Kompost verarbeitet wurden. Eine abfallwirtschaftliche Untersuchung begleitete das Projekt. Dieses Begleitprojekt sollte die abfallwirtschaftlichen Auswirkungen der neuen Verpackungen untersuchen und stellte entsprechende Fragen:

„Ist der Verbraucher in der Lage speziell gekennzeichnete BAW Verpackungen gezielt in die Biotonne zu geben, ohne dass die Menge systemstörender Fremdstoffe (»Fehlwürfe«) ansteigt? Wie funktionieren die Bioabfallsammlung und der Kompostierprozess? Welche Qualität haben BAW Komposte und welche Ergebnisse bringen sie als Dünger in der landwirtschaftlichen Anwendung“ (Narocon Innovation Consulting 2003: 1)?

Am Modellprojekt Kassel wird deutlich, dass der Versuch, biologisch abbaubare Kunststoffe in die Kompostwirtschaft zu integrieren, wiederum neue Prüfungssituationen entstehen ließ, die die neuen Stoffe bestehen mussten. Während sich die Prüfung der ‚abbaubaren Kunststoffe‘ in den 1980er Jahren noch auf ihr Verhalten in der Mülldeponie konzentrierte, stellte sich nun die Frage nach ihrem Verhalten in der Kompostanlage und ihrer Auswirkungen auf den Kompost.

Ein notwendiger Schritt zum Aufbau des Marktes bestand für die Unternehmen darin, die Kompostierbarkeit der Kunststoffe (und der daraus hergestellten Produkte) zu garantieren und für den Konsumenten sichtbar zu machen. Anders als in den 1980er Jahren arbeiteten die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe jetzt gemeinsam und in Kooperation mit Abfallwissenschaftlern und Normierungs- und Zertifizierungsorganisationen an der Entwicklung technischer Normen, unabhängiger Zertifizierungsverfahren und Logos für ‚kompostierbare Kunststoffe‘ (Dämmrich 2014). Sie mussten sich also darüber verständigen, was unter einem kompostierbaren Produkt zu verstehen sein soll, und wie dessen Kompostierbarkeit nachgewiesen werden soll. Ein Interviewpartner machte diesen Aspekt der Marktschaffung deutlich:

„Wenn Sie eine Technologie nehmen, also ein Produkt, das standardisiert im Markt ist, ja, das bieten sie einfach an. Aber um die Legitimität zu haben, die Spielregeln einer Industrie zu verändern, brauchen sie eine möglichst breite *collective action*. (...) Sie müssen Allianzen aufbauen, zum einen horizontal mit den anderen Anbietern von kompostierbaren Kunststoffen, um mit denen gemeinsame Standards zu verabschieden, die definieren, was ist denn eine kompostierbare Tüte. Das ist Voraussetzung dafür, dass der Gesetzgeber eines Landes dies auch als Produktgattung anerkennt. (...) Vorausgesetzt der Gesetzgeber ist überzeugt, dass diese einen ökologischen Mehrwert haben. Das heißt, sie brauchen die horizontale Kooperation zur Definition der Standards (Interview I).

Seit 1992 fand sich beim *Deutschen Institut für Normung* eine aus Wissenschaftlern bestehende Ad-hoc Arbeitsgruppe zusammen, die sich mit der Definition biologischer Abbaubarkeit auseinandersetzte. Ihr Ziel bestand darin, eine wissenschaftliche Definition biologischer Abbaubarkeit zu entwickeln, die einer Überprüfung durch staatliche Behörden dieses Mal standhalten würde. Ab 1995 arbeiteten Wissenschaftler und Industrievertreter gemeinsam an der Norm (Dämmrich 2014: 58). Dabei waren auch Abfallexperten für die Kompostwirtschaft an der Entwicklung der Norm und daran anschließender Zertifizierungsprogramme beteiligt (Interview

K). 1998 wurde die erste offizielle Norm (DIN54900) zur „Prüfung der Kompostierbarkeit von Kunststoffen“ veröffentlicht, die eine molekulare Verbindung als biologisch abbaubar definierte, wenn sie durch Mikroorganismen in CO₂, Wasser und Biomasse umgewandelt wird (Dämmrich 2014: 58). Als vollständig biologisch abbaubar galten Kunststoffprodukte, wenn innerhalb von 180 Tagen 90 Prozent des Kunststoffs in CO₂ umgewandelt wurde. Außerdem setzte die Norm Grenzen für den Anteil von Schwermetallen im Kunststoff, verlangte einen praktischen Test auf Kompostierbarkeit, bei dem mindestens 90 Prozent der verbleibenden Verpackungsreste kleiner als 2mm sein mussten, und eine Ökotoxizitätsprüfung des Komposts (Deutsches Institut für Normung 1998). Damit wurde die erste Generation ‚abbaubarer Kunststoffe‘ nun auch offiziell aus der neuen Produktkategorie der biologisch abbaubaren bzw. kompostierbare Kunststoffe ausgeschlossen. Mit der Veröffentlichung der Norm hatten Hersteller und Wissenschaftler eine erste notwendige Voraussetzung für den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen geschaffen.

Neben den formalen Voraussetzungen durch die Entwicklung von technischen Normen und Prüfverfahren mussten die Hersteller der Stoffe aber auch alle „Stufen“ der angestrebten neuen Wertschöpfungskette von ihrer Idee überzeugen (Interview H). Im Interview fasst der Leiter der Marktentwicklung die Voraussetzung folgendermaßen zusammen:

„Sie brauchen aber auch die vertikale Kooperation entlang der Wertschöpfungskette, um diese überhaupt erst zu ermöglichen. Also die kompostierbare Tüte muss ja vom Kompostierer akzeptiert werden. Üblich ist, dass ein Produkt in den Markt kommt, aber niemand mit den Entsorgern dazu im Vorweg spricht. Das empfiehlt sich bei dieser Produktgattung nicht, sondern vielmehr haben wir gelernt, es lohnt sich mit Kompostierern Pilotprojekte zu machen, zu zeigen, es kompostiert in den verschiedensten Kompostier- und Biogasanlagen, und dann das Produkt in den Markt zu bringen“ (Interview I).

Diese Ausführungen machen deutlich, dass für den Aufbau eines Marktes für biologisch abbaubare Kunststoffe mehr unternommen werden musste als bloß die technische Entwicklung neuer Polymere und der Aufbau bilateraler Marktbeziehungen mit Kunststoffanwendern. Um die Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen zu realisieren und die neuen Polymere in kommerzielle Produkte zu verwandeln, waren die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe vor allem auf die Kooperation mit dem *Ende* der Wertschöpfungskette – der Kompostwirtschaft – angewiesen. Ohne diese ließ sich das mit biologisch abbaubaren Kunststoffen verknüpfte Versprechen kompostierbarer Verpackungen nicht erfüllen. Auf die Kompostwirtschaft als notwendigem Kooperationspartner werde ich in Abschnitt 5.3. genauer eingehen.

Zuvor möchte ich jedoch den Aspekt der *Konkurrenz* in den Fokus stellen. Denn mit dem Versuch, Kunststoffverpackungen kompostierbar zu machen, unternahmen die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe nicht nur den Versuch, eine neue Form der Kreislaufwirtschaft aufzubauen. Sie traten mit ihren Marktschaffungsversuchen auch in Konkurrenz zu jenem System, das in Deutschland *eigentlich* für den abfallwirtschaftlichen Umgang mit Kunststoffverpackungen vorgesehen war – das werkstoffliche Recycling.

7.2. Abbaubarkeit vs. Recycling: Die Konkurrenz von Regulationsvisionen

Kollektiv wahrgenommene Krisen, so hatte ich im theoretischen Teil dieser Arbeit argumentiert, produzieren selten nur eine Lösungsstrategie. Zumeist existieren unterschiedliche „imagined recoveries“ (Jessop 2013: 239), die jeweils eigene Technologien, Institutionen, Regulationen, Produkte oder Infrastrukturen einschließen, und die daher miteinander um Realisierungsmöglichkeiten konkurrieren. Der Wettbewerb unterschiedlicher Technologien um einen ‚Markt potentieller Anwender‘ ist ein etabliertes Forschungsthema im Bereich der Innovationsforschung (Abernathy und Utterback 1978; Alkemade und Suurs 2012; Arthur 1989; van Lente und Bakker 2010). Zwei Erkenntnisse der Innovationsforschung sind für das Verständnis der Entwicklung des Marktes für biologisch abbaubare Kunststoffe aufschlussreich. Erstens argumentieren Forscher der *Soziologie der Erwartungen*, dass unterschiedliche Technologien nicht nur auf der Grundlage gegenwärtiger Leistungsmerkmale konkurrieren, sondern – insbesondere in frühen Phasen der Entwicklung, in denen noch keine Marktaktivität existiert – auf der Grundlage von Erwartungen an ihr zukünftiges Potential (van Lente und Bakker 2010). Da es in dieser Phase um die Mobilisierung von Forschungsgeldern und Unterstützern geht, ist anzunehmen, dass die Realisierungschancen einer technologischen Vision nicht unwesentlich davon abhängen, inwiefern unterschiedliche Akteure in ihren Erwartungen an sie übereinstimmen. Zweitens haben Innovationsforscher darauf hingewiesen, dass die Festlegung auf eine bestimmte Technologie, die Realisierungsmöglichkeiten anderer Optionen begrenzt oder ausschließt (Arthur 1989). Das trifft besonders bei solchen Technologien zu, die auf den Aufbau umfassender technischer Infrastrukturen angewiesen sind (Farla, Alkemade und Suurs 2010). Infrastrukturen sind all jene Einrichtungen, die notwendig sind, damit eine Technologie überhaupt zur Anwendung kommen kann. Aufgrund ihrer Materialität stellen technische Infrastrukturen gewissermaßen „gefrorene Zeitstrategien“ (M. Schneider, Kreibe und Ilg 2007: 72) dar, in denen sich bestimmte Erwartungen an die Zukunft verfestigen.

Der folgende Abschnitt widmet sich dem Verhältnis von (biologischer) Abbaubarkeit und stofflichem Recycling als zwei miteinander konkurrierende Regulationsvisionen für den Umgang mit Kunststoffabfällen. Zunächst gehe ich nochmals zurück in die 1970er Jahre als die Idee der (biologischen) Abbaubarkeit zuallererst entstand. Ich beschreibe die 1970er Jahre als eine Phase der Erwartungsbildung, in der bereits früh feststand, welche der beiden Ideen als aussichtsreichere Option für den zukünftigen Umgang mit Kunststoffabfällen gesehen wurde. In diesem Abschnitt beziehe ich mich nicht nur auf den deutschsprachigen Raum, da die Idee der Abbaubarkeit in diesem Zeitraum vor allem im englischsprachigen Raum diskutiert wurde (siehe Kap. 3). In einem zweiten Schritt konzentriere ich mich dann auf die Institutionalisierung des Recyclings in der deutschen Abfallpolitik. Ich stelle die Frage, wie sich der Aufbau einer Recyclingwirtschaft für Kunststoffe in Deutschland auf die Marktschaffungsversuche der Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe auswirkte.

Starke und schwache Regulationsvisionen

Als Kunststoffabfälle am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren zunehmend als ökologisches Problem wahrgenommen wurden, war die (biologische) Abbaubarkeit nicht die einzige Regulationsvision, die als Lösung für das Entsorgungsproblem formuliert wurde. Tatsächlich stand die Vision (biologisch) abbaubarer Kunststoffe bereits zu Beginn der Auseinandersetzung um eine alternative Kunststoffzukunft in Konkurrenz zur Vision des stofflichen Recyclings. Im Gegensatz zur Idee der (biologischen) Abbaubarkeit, bei der es um die Suche nach einer Möglichkeit ging, Kunststoffe zum *Verschwinden* zu bringen – „a magic formula to make plastics vanish“ (o.A. 1971c: 45) –, zielte das stoffliche Recycling auf die *Verwertung* von Kunststoffabfällen ab. Mithilfe werkstofflicher oder rohstofflicher Recyclingverfahren¹⁵ sollten Kunststoffabfälle in Zukunft zum Ausgangsmaterial für die Herstellung neuer, im Idealfall gleichwertiger Kunststoffprodukte werden.

In den 1970er Jahren, bevor Unternehmen mit der Entwicklung und Produktion von tatsächlich biologisch abbaubaren Kunststoffen auf der einen oder rezyklierten Kunststoffen aus

¹⁵ Werkstoffliche Verwertung bedeutet, dass die Kunststoffabfälle nach den unterschiedlichen thermoplastischen Polymeren sortiert, zerkleinert, gewaschen, getrocknet, farblich getrennt und zu neuen Kunststoffprodukten umgeschmolzen werden. Der technisch anspruchsvollste Teil dieses Verfahrens ist die Sortierung der vermischten und verunreinigten Kunststoffabfälle im Hausmüll. Bei rohstofflichen Verfahren werden die Kunststoffe nicht einfach nur umgeschmolzen, sondern durch chemische Prozesse wie Hydrolyse, Pyrolyse oder durch Lösungsmittel in niedermolekulare Bestandteile zerlegt, die dann wiederum als Rohstoffe zur Synthese neuer Kunststoffe dienen.

Haushaltsabfällen auf der anderen Seite begonnen hatten, konkurrierten beide Regulationsvisionen lediglich auf der Grundlage von Erwartungen. Eine Lektüre der Kommentare von Kunststoffchemikern und Fachjournalisten in der Kunststofffachpresse aus dieser frühen Erwartungsphase zeigt, dass bereits früh eine ausschließende Opposition zwischen beiden technologischen Möglichkeiten geschaffen wurde. Dabei wurde das Recycling von Anfang an als vielversprechendere Option für den Umgang mit Kunststoffabfällen gesehen.

Ein frühes Beispiel dafür findet sich in der Studie *Degradability of Plastics* der britischen *Plastics Federation* (E. Evans 1973). Der Autor der Studie, ein Mitarbeiter von *BP Chemicals* und Professor für Chemie, erhoffte sich, dass das ‚Zukunftsdenken in Richtung Ressourcenkonservierung tendieren‘ und damit in Zukunft entweder die Wiederverwendung von Kunststoffmaterialien oder die Pyrolyse¹⁶ zur Lösung des Abfallproblems beitragen würde (ebd.: 7). Dabei stellte der Autor in Aussicht, dass in einer Zukunft mit Kunststoffrecycling, „the last thing one would wish for would be photodegradable or biodegradable plastics“ (ebd.: 27). In einer Zukunft, in der Kunststoffabfälle werk- oder rohstofflich recycelt würden, hätten abbaubare Kunststoffe keinen Platz, sondern wären vielmehr Störstoffe, die den Recyclingprozess verkomplizieren könnten. Diese Gegenüberstellung von Abbaubarkeit und Recycling findet sich auch in einigen Artikeln der Industriepresse zum Thema der (biologisch) abbaubaren Kunststoffe im Laufe der 1970er Jahre (z. B. Hall 1972; Lewin 1971; Sprow 1973; Taylor 1979). Hierbei ging es freilich auch um die Verteilung von Forschungsaktivitäten und -geldern. So warnte z. B. ein Autor im *New Scientist* davor, die Entwicklung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ zu fördern, nur weil es sich dabei um eine wissenschaftlich-technische Herausforderung handele, ohne die Vor- und Nachteile dieser Idee wirklich abzuwägen. Anstelle einer Investition in die Vision der Abbaubarkeit könne „a good deal of useful scientific work (...) be done on devising ways of recycling plastic waste: this makes good economic and social sense“ (Lewin 1971: 441).

Die erste Ölpreiskrise forcierte zudem die Hinwendung zur Recycling-Vision. Mit dem Ansteigen des Ölpreises wurde in der Fachpresse neben der Entsorgungsproblematik zunehmend auch die Abhängigkeit der Kunststoffherstellung von den begrenzten Erdölressourcen als ökonomisches und ökologisches Zukunftsproblem thematisiert (siehe Kap. 4). „With the present concern about depletion of our petroleum and petrochemical supplies“, hieß es etwa in der Zeitschrift *Machine*

¹⁶ Unter Pyrolyse versteht man die thermische Spaltung der Esterbindungen der Polymere unter Sauerstoffausschluss. Dieses Verfahren kann beim rohstofflichen Recycling von Kunststoffen zur Anwendung kommen.

Design, „it seems to make more sense to conserve plastics than to design them to self-destruct“ (Sprow 1973: 80). Warum also, fragte der Artikel, ‚recyclen wir Kunststoffe nicht genauso wie wir jetzt über das Recycling von Metall oder Glas sprechen?‘ (ebd.). Das Zukunftsdenken tendierte nach der Ölpreiskrise, wie auch ein Bericht zu ‚abbaubaren Kunststoffen‘ in *Chemical Week* deutlich macht, eindeutig in Richtung der Recyclingfähigkeit von Kunststoffen. Mit Rückblick auf die frühen 1970er Jahre kam der Autor zur Erkenntnis, dass „[p]lastics that slowly degrade on exposure to the elements seemed like the ideal solution to a major solid-waste disposal problem a few years ago“ (o.A. 1976b: 35). Die aufgrund des steigenden Ölpreises höheren Kosten für Kunststoffgranulate hätten die Hersteller jedoch dazu veranlasst „to opt for recyclable new products wherever possible“ (ebd.). „Recyclability has become more popular than degradability“ (ebd.), fasste ein Vertreter der Kunststoffindustrie die Priorisierung Mitte der 1970er Jahre zusammen.

Auch innerhalb des politisch institutionalisierten Umweltschutzes wurde in den 1970er Jahren das Recycling von Kunststoffen als potentielle Lösung für das Abfallproblem anerkannt. Vertreter der US-amerikanischen *Environmental Protection Agency* bezeichneten Recycling beispielsweise als „[a]n ideal solution to our Nation’s mounting solid waste problem“ (Huffman und Keller 1973: 163), während sie der Idee der Abbaubarkeit von Anfang an skeptisch gegenüberstanden. In Deutschland hatte das *Battelle-Institut* in Frankfurt im Auftrag des *Bundesministeriums für Forschung und Technologie* Anfang der 1970er Jahre eine Studie durchgeführt, die zum Schluss kam, dass die „Substitution der nicht abbaubaren Kunststoffe durch biologisch abbaubare (...) nur ein geringer Beitrag zur ordnungsgemäßen Hausmüllbeseitigung“ (Oberbacher 1974: 11) wäre. Es ist anzunehmen, dass die Bundesregierung auch aufgrund dieser Studie in den 1970er Jahren nicht – wie im ersten Umweltprogramm von 1970 noch gefordert – in die Entwicklung biologisch abbaubarer Kunststoffe investierte. Im Gegensatz dazu stellten Bundes- und Landesregierungen bereits ab Mitte der 1970er Jahre finanzielle Mittel zur Entwicklung der technischen Voraussetzungen für das Recycling des Hausmülls bereit (Forstner 2015: 75).

Im Vergleich zur Idee biologisch abbaubarer Kunststoffe, die von vielen innerhalb der Kunststoffindustrie als Lösung für das Abfallproblem abgelehnt wurde (siehe Kap. 3), fand die Idee, Kunststoffe zu recyceln, also von Anfang an mehr Zuspruch unter Polymerforschern, bei Kunststoffherstellern und auch bei staatlichen Umweltbehörden. Die Erwartung an das Potential des Recyclings konnte bereits früh unterschiedliche Akteursgruppen miteinander verbinden. Setzt

man die Mobilisierungsfähigkeit beider Ideen für den Umgang mit Kunststoffabfällen zueinander ins Verhältnis, dann zeigt sich, dass es sich bei der (biologischen) Abbaubarkeit immer schon um die schwächere, beim Recycling immer schon um die stärkere Regulationsvision für das Abfallproblem handelte. Die Widerstände, die sich den Marktschaffungsversuchen der Hersteller biologisch abbaubare Kunststoffe später in den Weg stellten, waren also bereits in der Erwartungsphase beider Technologien in den 1970er Jahren angelegt. Gerade in Deutschland richtete sich die abfallpolitische Zielsetzung schon früh auf die Realisierung des Kunststoffrecyclings. Im nächsten Abschnitt beschreibe ich die Institutionalisierung des Recyclings in der abfallpolitischen Gesetzgebung in der Bundesrepublik.

Die Institutionalisierung des Kunststoffrecyclings in Deutschland

Die Entwicklung des modernen Kunststoffrecycling in Deutschland ist ganz wesentlich ein Resultat abfallpolitischer Paradigmen und Entscheidungen seit den 1970er Jahren. Bereits 1969 war das Kunststoffrecycling angesichts des wachsenden Müllaufkommens Thema in den Gesprächen zwischen dem *Bundesinnenministerium* und den Kunststoffherstellern zur Vorbereitung des Abfallbeseitigungsgesetzes von 1972. Politisch blieben diese Gespräche weitestgehend wirkungslos (Köster 2014: 58). Allerdings schlossen sich deutsche Kunststoffhersteller schon Mitte der 1970er Jahre zu einem gemeinsamen Forschungsprojekt zur *Wiederverwertung von Kunststoffabfällen* zusammen, um die technischen Möglichkeiten des Kunststoffrecyclings auszuloten (Menges 1977). 1975 veröffentlichte die Bundesregierung das *Abfallwirtschaftsprogramm*, das erstmals die Vermeidung und Verwertung von Abfällen – anstelle ihrer Entsorgung – als Elemente der Abfallwirtschaft erwähnte. Dabei verwies das Programm für den Umgang mit der wachsenden Menge an Kunststoffabfällen auf das Recycling durch „Verfahren der Schmelze, der Pyrolyse und Hydrolyse“ (Deutscher Bundestag 1976: 22).¹⁷ Recycling wurde somit offiziell als eine Option zur Lösung des Abfallproblems benannt (Köster 2017: 353). Sowohl Politik als auch Konsumenten waren Mitte der 1970er Jahre „dem Recycling als Technik zu Lösung der Müllprobleme gegenüber aufgeschlossen“ (ebd.).

Um die erste Hürde zur Gewinnung von Rohstoffen aus Müll zu überwinden, förderte die Bundesregierung ab Mitte der 1970er Jahre großtechnische Versuchsanlagen für die Trennung des

¹⁷ Während mit der „Schmelze“ das Verfahren des werkstofflichen Recyclings gemeint ist, gehört die Hydrolyse genau wie die Pyrolyse zum rohstofflichen-chemischen Recycling. Hierbei werden die Esterbindungen der Polymere durch Wasserdampf unter hohem Druck und hohen Temperaturen gespalten.

kommunalen Abfalls (ebd.: 365ff.). Gerade für das Kunststoffrecycling war es essentiell, möglichst sortenreine Abfallströme zu schaffen. Diese ersten Versuche der mechanischen Sortierungen des Hausmülls erwiesen sich jedoch als wenig effizient und litten an einer Reihe technischer Probleme (ebd.: 367). Allerdings verwies Werner Schenkel, Leiter des Bereichs Abfallwirtschaft beim 1974 gegründeten *Umweltbundesamt*, bereits früh darauf, dass wahrscheinlich weniger die technische Entwicklung funktionierender Sortieranlagen als vielmehr die Entwicklung von Produkten aus den gewonnenen Sekundärrohstoffen das größte Problem bei der Verwirklichung der Recyclingvision darstellen könnte (Schenkel 1977: 968). Vor allem aufgrund der geringeren Qualität von Sekundär- im Vergleich zu Primärrohstoffen bedeutet Recycling damals wie heute häufig „Downcycling“, also eine Verwertung der Rezyklate in qualitativ minderwertigen Produkten wie Blumentöpfen, Parkbänken oder Bauteilen. Um die Qualität der Rezyklate zu verbessern, wurde intensiv an der Sortierungs- und Verarbeitungsmöglichkeit von Kunststoffabfällen geforscht (Köster 2017: 381). Allein aus ökonomischen Motiven entwickelte sich allerdings kein Markt für rezyklierte Kunststoffe. Beim *Umweltbundesamt* hatte sich schon Ende der 1970er Jahre die Erkenntnis durchgesetzt, dass eine Recyclingwirtschaft nur mithilfe staatlicher Eingriffe hergestellt werden könne (ebd.: 368).

Die wachsende Unzufriedenheit der Bevölkerung mit dem politischen Umweltschutz und der Einzug der Grünen in den Bundestag intensivierte in den 1980er Jahren die Auseinandersetzung mit abfallpolitischen Fragestellungen. Jetzt fand das Thema Recycling erstmals Eingang in die Bundesgesetzgebung und entwickelte sich zum paradigmatischen Leitbild der Abfallwirtschaft (Köster 2017: 353; Krohn, Hoffmann-Riem und Groß 2011: 429ff.). 1986 verabschiedete die Bundesregierung das *Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen*, das den Umgang mit Abfällen neu regeln sollte. Das Gesetz prägte eine neue Abfallhierarchie – Vermeiden vor Verwerten vor Entsorgen (BGBl 1986: 1410f.). Mit der Priorisierung der Verwertung vor der Entsorgung hob das Gesetz den ökonomischen Wert von Abfällen hervor, die in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden sollten. Während die Grünen und die SPD weitgehendere Einschränkungen und Verbote von Einwegverpackungen und auch Recyclinggebote von Einwegflaschen vorschlugen, setzte sich allerdings die Industrie bei der regierenden Koalition aus CDU und FDP mit ihrem Anliegen durch, politische Eingriffe in den Verpackungsmarkt zu verhindern (Keller [1998] 2009: 114ff.). Die Abfallhierarchie stellte daher lediglich eine wenig wirksame Leitlinie für die Abfallwirtschaft dar. Dennoch war das Gesetz für

die Entwicklung der deutschen Abfallwirtschaft insofern bedeutend, als es die Bundesregierung erstmals zu Rechtsverordnungen ermächtigte, sollte sich die Industrie nicht freiwillig an Zielfestlegungen zur Verringerung und Verwertung von Abfällen halten (Seifert 2011: 91).

Im Jahr 1991 machte die Bundesregierung mit der Verabschiedung der *Verpackungsverordnung* von der Möglichkeit einer solchen Rechtsverordnung Gebrauch (BGBl 1991). Damit ging erstmals die Verantwortung für die Entsorgung von Abfällen von der öffentlichen Hand auf die Privatwirtschaft über. Dem „Verursacherprinzip“ folgend wurden die Hersteller von verpackten Gütern und der Handel als Inverkehrbringer von Verpackungen zur Rücknahme, Wiederverwendung oder Verwertung von leeren Verpackungen außerhalb der öffentlichen Abfallentsorgung verpflichtet. Auf Bestreben des *Bundesverbands der Deutschen Industrie* gab der Gesetzgeber den einzelnen Herstellern allerdings die Möglichkeit einer Befreiung von dieser unmittelbaren Rücknahmepflicht, wenn sie gemeinschaftlich ein eigenständiges, flächendeckendes, privatwirtschaftliches System zur Entsorgung und Verwertung von Verpackungen aufbauen würden (Seifert 2011: 92).

Dabei war das *Umweltbundesministerium* bestrebt, „die Verwertung im Rahmen der VerpackV auf ein werkstoffliches Fundament“ (Timmermeister 1998: 40) zu stellen. Dies wurde sowohl von Seiten der Umweltverbände als auch von Seiten der Kunststoffindustrie kritisch gesehen. Für Umweltverbände ging die Verpackungsverordnung nicht weit genug. Aus ihrer Sicht wurde mit der Verordnung das Recycling als eine Art „grünes Mäntelchen“ über das eigentliche Ziel der Vermeidung von Abfällen gestellt (Keller [1998] 2009: 79). Der Kunststoffindustrie wiederum missfiel, dass die Verbrennung als „thermische“ bzw. „energetische Verwertung“ in der Verordnung nicht als gleichrangig mit der stofflichen Verwertung anerkannt wurde (Timmermeister 1998: 53). Im Gegensatz zu Vermeiden oder Verbrennen hatte die Bundesregierung in der Verordnung Erfassungs- und Sortierquoten für die einzelnen Verpackungsarten festgelegt und damit den Weg zu einer werkstofflichen Recyclingwirtschaft vorgegeben (BGBl 1991). Leere Verpackungen sollten jetzt nicht mehr als Müll entsorgt, sondern als *Wertstoffe* in den Produktionsprozess zurückgeführt werden. Mit der Verpackungsverordnung wurde die Recyclingvision in Deutschland institutionell verankert.

Damit stand die Industrie und der Handel vor der großen Aufgabe, eine Recyclingwirtschaft für Kunststoffverpackungen mitsamt der dazugehörigen technischen Infrastruktur – Gelbe Tonnen und

Recyclinganlagen – und der notwendigen Absatzmärkte für Rezyklate aufzubauen. Mit der Gründung der *Duales System Deutschland GmbH* (DSD) hatten Unternehmen aus der Lebensmittel- und Verpackungsindustrie bereits 1990 auf die sich abzeichnende neue abfallpolitische Anforderung reagiert (Timmermeister 1998: 35ff). Zu den Aufgaben der *DSD* gehörte die Beauftragung von Entsorgungsunternehmen zur Einsammlung und Sortierung von Verpackungsmüll. Gleichzeitig vergab das Unternehmen das Marken- und Finanzierungszeichen des *Grünen Punkts*, das die Vertragsbindung der Inverkehrbringer von Verpackungen zum Dualen System zum Ausdruck brachte und die jeweilige Verpackung zur Erfassung in diesem System qualifizierte. Die Einnahmen aus den materialspezifischen Lizenzgebühren für den *Grünen Punkt* verwendete die *DSD* zur Bezahlung der von ihr beauftragten Entsorgungsunternehmen (ebd.: 36f.).

Um das tatsächliche Recycling der Verpackungen sicherzustellen, schloss die *DSD* Vereinbarung mit sogenannten Garantiegebern ab, die für die Verwertung der Abfälle verantwortlich waren. Im Fall der Kunststoffe gründeten Unternehmen aus dem Bereich der Kunststoffherstellung und Kunststoffverarbeitung gemeinsam mit Entsorgungsunternehmen die *Verwertungsgesellschaft Gebrauchte Kunststoffverpackungen* (VGK), die die Verantwortung für das Recycling der gesammelten Kunststoffverpackung übernahm (ebd.: 39f.). Angesichts der Vielfalt und Vermischung unterschiedlicher Kunststoffarten im Verpackungsmüll, die zudem durch Lebensmittelreste oder andere Stoffe verschmutzt waren, ging man allerdings davon aus, dass sich die Umsetzung der Recyclingvision gerade bei Kunststoffverpackungen als schwierig erweisen würde. Daher erhob die *VGK* ein Sonderentgelt von 50 Pfennig pro Kunststoffverpackung, das in die Schaffung von Recyclingkapazitäten, in die Entwicklung neuer Recyclingtechnologien und neuer Einsatzmöglichkeiten für die gewonnenen Rezyklate investiert werden sollte (ebd.: 82).

Rückblickende Studien zeigen, dass sich der Aufbau einer Recyclingwirtschaft für Kunststoffe in Deutschland tatsächlich alles andere als einfach gestaltete. So übte die kunststofferzeugende und -verarbeitende Industrie von Beginn an „extreme[] Zurückhaltung“ (ebd.: 39) beim Aufbau einer Recyclinginfrastruktur und forderte immer wieder die von der Politik festgelegten Recyclingquoten zu reduzieren und – letztlich erfolgreich – die thermische Verwertung durch Verbrennung der stofflichen Verwertung gleichzustellen. Gerade zu Beginn der dualen Abfallwirtschaft kam es häufig zu medial vermittelten ‚Skandalen‘, die zeigten, dass die *VGK* nicht in der Lage war, die große Menge an Kunststoffabfällen stofflich zu verwerten. (ebd.: 69). Und selbst heute stößt das Recycling von Kunststoffen aufgrund der Vermischung unterschiedlicher

Kunststoffarten im Verpackungsmüll und der großen Menge an Verbundmaterialien, bei denen unterschiedliche Materialsichten so miteinander verklebt werden, dass sie sich nicht problemlos trennen lassen, weiterhin auf Probleme. Laut Umweltbundesamt wurden von den im Jahr 2017 gesammelten *Post-Consumer* Kunststoffabfällen lediglich 38,9 Prozent einer stofflichen Verwertung zugeführt, wobei davon auszugehen ist, dass davon nur ein geringer Anteil tatsächlich in qualitativ gleichwertigen Produkten verwertet wurde und damit die Kriterien eines ‚echten‘ Recyclings erfüllt. Über 60 Prozent der gesammelten Kunststoffabfälle wurden hingegen verbrannt (Umweltbundesamt 2018).

Diese Zahlen machen deutlich, dass sich auch die Vision des Recyclings nicht ohne Weiteres realisieren ließ. Für die Argumentation in dieser Arbeit sind allerdings weniger die Realisierungsprobleme des Recyclings relevant als vielmehr die Tatsache, dass mit der Verabschiedung der Verpackungsverordnung im Jahr 1991 ein bestimmter Pfad für den Umgang mit Kunststoffabfällen in Deutschland festgelegt wurde. Die Regulationsvision des Recyclings von Kunststoffen hatte sich spätestens zu diesem Zeitpunkt als abfallwirtschaftliches Leitprinzip institutionalisiert. Mit dem Aufbau neuer technischer Infrastrukturen des Recyclings wurden Erwartungen an die Zukunft materiell gebunden und verfestigt, sodass die Realisierung einer alternativen Entsorgungsoption für kompostierbare Kunststoffverpackungen auf Probleme stieß. Der folgende Abschnitt soll ausführen, wie die Institutionalisierung des Recyclings die Marktschaffungsversuche der Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe beeinflusste.

Biologisch abbaubare Kunststoffe und Kunststoffrecycling: eine problematische Koexistenz

Aus heutiger Sicht stellt die Verpackungsverordnung von 1991 für die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe eine entwicklungsbestimmende Weichenstellung dar. Ein Verkaufsleiter für biologisch abbaubare Kunststoffe analysiert im Interview die Situation Anfang der 1990er Jahre folgendermaßen: „[D]as Recycling wurde eigentlich mit dem Inkrafttreten der Verpackungsverordnung um 1991 quasi zementiert. (...) und 1990 wurde das duale System gegründet, also waren eigentlich zu diesem Zeitpunkt die Weichen gestellt gegen kompostierbare Werkstoffe“ (Interview H). Zwar konnten die Hersteller angesichts der oben beschriebenen Probleme des Kunststoffrecyclings ihre Idee weiterhin in den Diskurs um abfallpolitische Maßnahmen einbringen (Interview G). Als Resultat der Verpackungsverordnung etablierte sich allerdings, bevor biologisch abbaubare Kunststoffe tatsächlich in größerem Umfang marktfähig

waren, eine Pfadabhängigkeit in Richtung Recycling basierend auf Regulationen und technischen Infrastrukturen. In der nun entstehenden Recyclingwirtschaft stießen biologisch abbaubare Kunststoffe auf Kompatibilitätsprobleme. Ein Interviewpartner bringt das Problem auf den Punkt, wenn er beschreibt, dass biologisch abbaubare Kunststoffe

„auf ein bestehendes System getroffen sind, das sich gewehrt hat gegen das neue Material mit einer Furcht, jetzt kommen neue Eigenschaften in mein System – ich habe es aber doch grade etabliert und es funktioniert so leidlich und ich komme damit klar. Und jetzt kommt da ganz was Neues. Will ich erstmal nicht. Also ein gewisses Beharrungsvermögen, Anti-Haltung (...)“ (Interview K).

Was hier als „Furcht“, „Beharrungsvermögen“ oder „Anti-Haltung“ beschrieben wird, will ich anhand von zwei Punkten konkretisieren. Zunächst bedeutete die Institutionalisierung der Recyclingvision durch die Verpackungsverordnung, dass die Stoffe aufgrund ihrer wertgebenden Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit auf Zuordnungsprobleme innerhalb des neuen gesetzlichen Regulationsrahmens stießen, sodass ihr Entsorgungsweg ungeklärt war. Zweitens entstand ein neues Feld des Kunststoffrecyclings mit einer eigenen technischen Infrastruktur, in der biologisch abbaubare Kunststoffe keine *Wert-* sondern vielmehr *Störstoffe* darstellten und entsprechend abgewehrt wurden.

Regulatorische Unklarheit

Mit der Verabschiedung der Verpackungsverordnung fiel die Entsorgung biologisch abbaubarer Kunststoffe als potentielle Verpackungsmaterialien in den Zuständigkeitsbereich der *DSD GmbH*. Denn unabhängig von den verwendeten Materialien sollten alle Verpackungsabfälle in Deutschland einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Aufgrund der Neuartigkeit der Materialien enthielt die Verpackungsverordnung allerdings keine explizite Verwertungsregelung für Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. Im Gegensatz zum politisch festgelegten Ziel des Recyclings strebten die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe ja eine Entsorgung über die Kompostierung an. Die *DSD* sah hingegen ihre Aufgabe lediglich im Aufbau eines werk- bzw. rohstofflichen Recyclings und nicht im Aufbau einer flächendeckenden Kompostierung für Verpackungen (K. Westermann 1994: 546). Die Kompostierung von Bioabfällen lag hingegen weiterhin in der Verantwortung der öffentlichen Hand.

Als Verpackungsmaterial ließ sich die Produktgruppe der *biologisch abbaubaren Werkstoffe* (BAW), wie sie nun auch häufig bezeichnet wurde, also nicht eindeutig in das neue

Klassifikationssystem der deutschen Abfallwirtschaft einordnen. Waren Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen nun als Kunststoffverpackungen zu definieren und gehörten deshalb in die neue gelbe Tonne und in den Zuständigkeitsbereich der Privatwirtschaft, oder handelte es sich um Bioabfälle, die in der Biotonne entsorgt werden sollten und in den Zuständigkeitsbereich der öffentlichen Abfallentsorgung gehörten? Ein Unternehmensvertreter des Kosmetikerherstellers *Wella*, der in den 1990er Jahren Shampoo in einer Flasche aus dem PHBV-Material *Biopol* anbieten wollte, beschrieb die Situation folgendermaßen: „Die Verpackungsverordnung erfaßt sämtliche Verpackungen, sämtliche Materialarten, also auch Biopol. Und sie fordert stoffliche Wiederverwertung, das macht allerdings für einen biologisch abbaubaren Werkstoff, der idealerweise kompostiert werden soll, überhaupt keinen Sinn“ (Hamann, zit. in Reuter und Zacharias 1991: 96). Da biologisch abbaubare Kunststoffe mit der neuen privaten Abfallwirtschaft für Verpackungen nicht kompatibel waren, blieb ihre Entsorgung also zunächst unklar.

Mit der Institutionalisierung des Recyclings wandten sich bereits früh einige Verpackungs- und Konsumgüterhersteller von der Idee der biologischen Abbaubarkeit ab. Auf einer Konferenz zum Thema Verpackung beschrieb z. B. ein Vertreter des Verpackungsherstellers *Uniplast Knauer GmbH* die Abkehr von der Idee der Abbaubarkeit: „Als wir dann gesehen haben, daß das stoffliche Recycling kommen wird, haben wir diese Entwicklung auf Eis gelegt, weil sie wahrscheinlich auch das normale konventionelle stoffliche Recycling, in das wir viel Hoffnung setzen, stören kann“ (ebd.: 171). Und auch bei *Wella* bedeutete die politische Institutionalisierung des Recyclings eine Aufmerksamkeitsverschiebung in diese Richtung: „Im Augenblick wird das [PHBV-]Projekt etwas beiseite gedrückt durch die aktuellen Ereignisse: Verpackungsverordnung und Duales System“ (ebd.: 201), berichtete ein Vertreter des Unternehmens.

Zwar nahm die *DSD GmbH* nach einer Verwarnung durch das *Bundeskartellamt* auch Hersteller und Inverkehrbringer von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen als Lizenznehmer auf. Die von der Politik geforderte Verwertungsgarantie konnte die *DSD* für diese Verpackungen allerdings nicht geben. Die Shampoo-Flasche von *Wella* erhielt also den *Grünen Punkt*, wurde allerdings weder kompostiert noch – aufgrund der geringen Mengen – einem werk- oder rohstofflichen Recycling zugeführt, sondern aussortiert und landete auf der Deponie oder in der Verbrennungsanlage. So ereilte sie ein Lebensende, das sowohl der abfallpolitischen Zielsetzung als auch dem Streben der Hersteller entgegenstand (Westermann 1994: 49).

Das Problem der Zuordnung der biologisch abbaubaren Stoffe innerhalb der neuen regulatorischen Rahmensetzung hatte zwei Konsequenzen. Erstens bedeutete ein Verzicht auf den *Grünen Punkt*, dass Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen kaum eine Chance hatten, den Weg in Supermärkte und damit zum Konsumenten zu finden. „Wer nicht seine Vertriebsnischen außerhalb des marktbestimmenden Handels gefunden hat, wird ohne Zugehörigkeit zu den angeführten privatwirtschaftlichen Entsorgungssystemen kaum noch mit seinen Produkten in die Regale eines Supermarktes gelangen“ (ebd.: 50.), befürchteten Befürworter der neuen Materialien. Zudem bedeutete der Verzicht auf die Teilnahme am System der *DSD*, dass die Inverkehrbringer biologisch abbaubarer Verpackungen nun selbst für die flächendeckende Erfassung und Entsorgung dieser Verpackungsabfälle verantwortlich waren. Nachdem einigen Herstellern „lange Zeit nicht klar gewesen [war], daß ausgerechnet ihre biologisch abbaubaren Materialien die Verlierer einer neuen Politik sein sollten“ (ebd.: 549), realisierten sie bald, dass der Aufbau eines Marktes für biologisch abbaubare Kunststoffe in Deutschland den Aufbau einer eigenständigen Entsorgungsschiene erforderte. Wie ich in Kapitel 5.3. zeigen werde, nahmen sich die Hersteller dieser Aufgabe tatsächlich an, stießen jedoch auch hier bald auf Probleme.

Biologisch abbaubare Kunststoffe als Störstoffe in der neuen Recyclingwirtschaft

Abgesehen von der regulatorischen Unklarheit über ihren Entsorgungsweg etablierte sich mit dem Aufbau des Kunststoffrecyclings in Deutschland auch ein neues wirtschaftliches Feld, dessen Akteure den biologisch abbaubaren Kunststoffen entgegraten. Polymerforscher und Kunststoffhersteller hatten, wie oben beschrieben, schon seit den 1970er Jahren auf die problematische Koexistenz von (biologisch) abbaubaren Kunststoffen und konventionellen Kunststoffen in den Abfallströmen der Zukunft hingewiesen. Da die Vermutung bestand, dass die Vermischung von biologisch abbaubaren Kunststoffen und konventionellen Kunststoffen im Abfallstrom die ohnehin schon niedrigere Qualität der Rezyklate weiter senken würde, sprachen Akteure der Kunststoffindustrie Anfang der 1990er Jahre eine Warnung vor der Einführung der neuen Materialien aus: „[A]bbaubare Kunststoffe stellen einen Frontalangriff gegen die Kunststoffkaskaden-Idee dar“, hieß es in einem Artikel in der Fachzeitschrift *Kunststoffe*: „In der Praxis kann keine Quelle gemischter Abfälle mehr frei von abbaubaren Kunststoffen sein. Wie kann dann ein Recyclingbetrieb unterscheiden? Die Akzeptanz von Recycling-Rohmaterialien würde dann noch weiter sinken“ (Weßling 1990: 469). Kunststoffingenieure an universitären

Kunststoffinstituten erwarteten gar „katastrophale[] Folgen für das Recycling synthetischer Kunststoffe“ (Heinrich 1991).

Für Recyclingunternehmen ist es essentiell, dass sie möglichst große Mengen sortenreiner Kunststoffabfälle erhalten, da nur so ein qualitativ hochwertiges Rezyklat produziert werden kann. Aus ihrer Perspektive galten (und gelten) biologisch abbaubare Kunststoffe daher nicht als *Wertstoffe*, sondern vielmehr als zusätzliche *Störstoffe*, die ihren Aufwand bei der Sortierung der Abfälle erhöhen und die Qualität ihrer Rezyklate gefährden. Die Recyclingwirtschaft, so beschreibt es ein Interviewpartner,

„hat ein Problem damit, wenn sie nicht in der Lage ist, diese Stoffströme vernünftig zu handhaben und möglichst viel von dem Guten zu sortieren und das andere möglichst sauber weg zu sortieren. Wenn jemand von außen kommt als PLA oder als Stärkewerkstoff heißt das, weg, dich wollen wir nicht haben“ (Interview G).

Zwar strebten die Hersteller von kompostierbaren Kunststoffen eine Entsorgung über die Biotonne an, sodass die Stoffe gar nicht erst in die gelbe Tonne und damit in die Recyclinganlage gelangen würden. Dennoch bestand die Befürchtung, dass biologisch abbaubare Kunststoffe in Recyclinganlagen auftauchen würden, da der Verbraucher keine konsequente Trennung der beiden, sich optisch nicht unterscheidenden Kunststofffraktionen – konventionelle Kunststoffe in die gelbe Tonne, biologisch abbaubare Kunststoffe in die Biotonne – vornehmen würde können. Auch nachdem in Recyclingbetrieben Infrarot-Sensoren eingeführt wurden, um Kunststoffabfälle automatisch zu trennen, blieb die Befürchtung bestehen, dass es zu einer „Verunreinigung der Wertstofffraktionen und zu Problemen beim Recycling“ (Cantner et al. 2011: 67) durch biologisch abbaubare Kunststoffe kommen könnte.

So blieb auch in den 2000er und 2010er Jahren, wie Pressemitteilungen des *Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.* deutlich machen, die Abwehrhaltung gegen biologisch abbaubare Kunststoffe auf Seite der Recyclingwirtschaft bestehen (Bundesverband für Sekundärrohstoffe und Entsorgung 2012; 2008). Auf der 7. *European Bioplastics* Konferenz 2012 machten deren Vertreter den Herstellern biologisch abbaubarer Kunststoffe klar,

„dass es sehr problematisch ist, wenn Biokunststoffe in den ‚Gelben Sack‘ gelangen und sich mit normalen Kunststoffen vermischen. Hauptgrund hierfür ist, dass sich die Biokunststoffe bei den vorgeschalteten Wasch- und Aufbereitungsanlagen auflösen und so auch noch die Materialqualität der herkömmlichen Kunststoffe mindern. Experten wissen auch, dass Biokunststoffe die Farbe, die Barriereigenschaften oder auch die mechanischen Eigenschaften eines recycelten petrochemischen Kunststoffs verändern können. Kleine

Mengen an Biokunststoffen können außerdem dazu führen, dass die Verarbeitbarkeit von Polyethylen eingeschränkt wird und so beispielsweise Probleme bei der Herstellung von Folien entstehen. In Berlin war man sich daher einig, dass kein Weg daran vorbeiführt, Biokunststoffe auszuschleusen, bevor der Recyclingprozess beginnt“ (Bundesverband für Sekundärrohstoffe und Entsorgung 2012).

Das Problem, die neuen Stoffe in die bestehende Recyclinginfrastruktur zu integrieren, stellt heute weiterhin ein Hindernis für Marktschaffungsversuche in Deutschland dar. Aktuell hat die Bundesregierung durch die Verabschiedung des Verpackungsgesetzes, das Anfang 2019 in Kraft trat und höhere Recyclingquoten vorgibt als die bisher geltende Verpackungsverordnung, die Anforderungen an das Kunststoffrecycling wieder verschärft (BGBl 2017). Aktuell wird der Ausbau des Recyclings also politisch wieder forciert, was die Recyclingwirtschaft vor größere Herausforderung bei der Sortierung und Verwertung der Abfälle stellt. Wollen Biokunststoffe in den zukünftigen Kunststoffmärkten einen Platz beanspruchen, dann müssen sie sich folglich als recyclingfähig qualifizieren.

Zwar ist es technisch durchaus möglich, sortenreine Abfälle aus Kunststoffen wie PLA stofflich zu recyceln. Angesichts der politischen Forderung nach höheren Recyclingquoten sind die Hersteller daher auch bemüht, unter Beweis zu stellen, dass ihre Produkte das Recycling konventioneller Kunststoffe nicht stören und sie selbst auch recyclingfähig sind. Insbesondere für PLA wurden Studien durchgeführt, die dessen Integrierbarkeit in die Recyclingwirtschaft bestätigen, also z. B. die Möglichkeit PLA-Abfallströme über die Infrarotsensoren in Recyclinganlagen abzutrennen oder auch die Möglichkeit PLA lösungsmittelbasiert zu recyceln (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2017). Aufgrund der geringen Mengen von PLA in den Abfallströmen erweist sich die Sortierung des Polymers und sein Recycling bis dato jedoch als unwirtschaftlich. Da die neuen Stoffe für Recyclingunternehmen also (noch) keinen ökonomischen Wert besitzen, gleichzeitig aber als Bedrohung für das Recycling der konventionellen Kunststoffe gelten, werden sie weiterhin ausgeschleust und mit der aussortierten Mischfraktion verbrannt.

Das politisch angestrebte Ziel eines möglichst hochwertigen Kunststoffrecyclings können die neuen Stoffe – im Gegensatz zu den etablierten Kunststoffen wie PET oder PE – somit nicht erfüllen. Einige Experten schätzen die Probleme bei der Integration in die bestehende Recyclingwirtschaft daher auch weiterhin als Hemmnis der Marktentwicklung ein. So formuliert ein Interviewpartner die Problematik am Beispiel von PLA folgendermaßen:

„Wenn du mit PLA einen Recyclingweg blockierst, bist du heute tot, mehr oder weniger. Und das ist ein ganz starkes Innovationshemmnis, das PLA jetzt wahrscheinlich nochmal durchleiden muss und durchlaufen muss. Wenn die Forderung an Recyclingfähigkeit nach oben geht, und du bist jetzt ein Produkt, das in der Strecke der Recyclingwirtschaft nicht kompatibel ist, weil noch kein eigener Sortier- und Recyclingweg vorhanden ist, dann hast du ein zusätzliches Innovationshemmnis durch eine veränderte Entsorgungsanforderung“ (Interview G).

Wollen Verpackungs- oder Konsumgüterhersteller also biologisch abbaubare Kunststoffe verwenden, dann stellt sich, wie auch ein anderer Interviewpartner aus der Praxis bestätigt, die entscheidende Frage, wie sich das entsprechende Produkt in den Stoffströmen der Recyclingwirtschaft verhält. So seien bei den potentiellen Anwendern

„nach wie vor Vorbehalte einfach da, die da lauten, ein biologisch abbaubares Material kommt in andere Stoffströme rein. Es wird ja zwangsläufig auch über die gelbe Tonne entsorgt. Auch eine Frage, die uns [Unternehmen X] gestellt hat. Was passiert mit Biokunststoffen im dualen System? Und da muss man schon sagen, naja, es ist ein neues Material“ (Interview K).

Die Einführung von biologisch abbaubaren Kunststoffen in Deutschland seit den 1990er Jahren kollidierte also, das sollte in diesem Kapitel veranschaulicht werden, mit einem kurz zuvor institutionalisierten System, das einen gänzlich anderen Weg der Entsorgung von Kunststoffabfällen vorgab. In der entstehenden Recyclingwirtschaft für Verpackungen stießen biologisch abbaubare Kunststoffe auf Kompatibilitätsprobleme. Zwar strebten die Hersteller den Aufbau einer eigenen Kreislaufwirtschaft an, in der Kunststoffverpackungen eben nicht werkstofflich recycelt, sondern kompostiert werden sollten. Aber allein schon die Koexistenz von zwei optisch nicht unterscheidbaren Kunststofffraktionen mit unterschiedlichen Entsorgungswegen – Recycling und Kompostierung – stellte sich als Problem für die Marktentwicklung heraus. Abgesehen davon stießen die Hersteller auch beim Aufbau der eigenen Entsorgungsschiene auf Widerstände. Kooperationsprobleme mit der Kompostwirtschaft werde ich im Folgenden darstellen.

7.3. Die Biotonne bleibt verschlossen: Gescheiterte Mobilisierung notwendiger Kooperationspartner

Das vorangegangene Kapitel hat das Verhältnis von Recycling und Abbaubarkeit als zwei miteinander konkurrierende Regulationsvisionen für den Umgang mit Kunststoffabfällen in den Blick genommen. Im Folgenden konzentriere ich mich hingegen auf den Versuch der Hersteller, ein eigenes Entsorgungssystem für Verpackungen mittels Kompostierung aufzubauen. Um ihre Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen zu realisieren, benötigten die

Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe vor allem eins – die Kooperationsbereitschaft der Kompostwirtschaft. Da aus Sicht der Hersteller in den 1990er Jahren das größte Hindernis der Marktschaffung für die neue Materialklasse in der ungeklärten Entsorgungsfrage bestand, trafen sie sich seit 1992 in einem gemeinsamen Gesprächskreis, der sich ein Jahr später offiziell als Verband *Interessengemeinschaft biologisch abbaubarer Werkstoffe e.V.* konstituierte und dessen Arbeit sich auf den Aufbau einer eigenen Entsorgungsschiene konzentrierte. Von Beginn an bestand das Ziel dabei in der Mitbenutzung der im Aufbau befindlichen kommunalen Bioabfallsammlung. Bis Ende der 1990er Jahre war bereits in 77 Prozent der deutschen Gebietskörperschaften das Getrenntsammlensystem der Biotonne installiert und die Zahl der Kompostanlagen auf 558 angestiegen (Fricke und Turck 2000: 26).

Diese entstehende technische Infrastruktur wollten Biokunststoffhersteller für die Entsorgung kompostierbarer Verpackungen nutzen. Die Hoffnungen der Hersteller auf den Erfolg biologisch abbaubarer Kunststoffe in Deutschland gründeten gerade auf der Beobachtung, dass der Aufbau der Kompostierung im Vergleich zu anderen Ländern weiter fortgeschritten war. So stellte z. B. ein Hersteller von biologisch abbaubaren Kunststoffen Ende der 1990er Jahre fest, dass „[t]he market needs for things to grow: infrastructure, legislation to allow biodegradable plastics into the waste stream, a defined standard for compostability, and product labeling. [...] Germany will be the first to have all four in place“ (Wood und Scott 1998: 24). Seit Ende der 1990er Jahre arbeiteten die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe gemeinsam mit der *Interseroh Dienstleistungs GmbH*, einem Dienstleistungsunternehmen im Bereich des Rohstoffrecyclings, am Aufbau des angestrebten Entsorgungssystems. Das Konzept sah vor, dass Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen von den Haushalten gemeinsam mit den Bioabfällen in der Biotonne entsorgt und anschließend in Kompostanlagen verarbeitet werden sollten. Dafür würden die Kommunen einen finanziellen Ausgleich erhalten. Dieser Ausgleich sollte über die Gebühren finanziert werden, die die Inverkehrbringer von kompostierbaren Verpackungen entrichten würden. Um Kunststoffanwender als Nachfrager für biologisch abbaubare Kunststoffe zu gewinnen und vom Konkurrenzsystem der DSD zu lösen, wurde in Aussicht gestellt, dass die Gebühren für das neue duale System unter den Lizenzgebühren für die konventionellen Kunststoffverpackungen des DSD-Konkurrenzsystems liegen würden, sodass die höheren Materialpreise für biologisch abbaubare Kunststoffe ausgeglichen werden könnten (Reske 1998: 141).

Da in Deutschland die einzelnen Kommunen für den Betrieb der Biotonne zuständig sind und somit letztlich darüber entscheiden können, welche Stoffe von den Bürgern dort entsorgt werden dürfen, bestand die Hauptaufgabe der Hersteller darin, bei den einzelnen Kommunen, Akzeptanz für ihr Entsorgungskonzept zu schaffen (Interviews H, K, A). Praktisch bedeutete dies, einzelne Kommunen und deren Interessenvertretung von biologisch abbaubaren Kunststoffen zu überzeugen. „Dort hat es mehrere Gespräche gegeben, wir sind auf entsprechende Tagungen gegangen, um wirklich den Dialog überhaupt mal klar zu machen, da ist ein Thema“ (Interview K), berichtet ein Interviewpartner über diese frühe Aufgabe der Marktschaffung. Anfänglich stießen die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe dabei auch durchaus auf Interesse bei einigen Kommunen (Interview K, H).

Im Zentrum des Dialogs zwischen den Herstellern der Kunststoffe und den Kommunen stand ein bestimmtes Produkt – der kompostierbare Abfallbeutel für die Sammlung von Biomüll. Der kompostierbare Abfallbeutel war „die erste schlagende Idee, die für Kunststofffirmen attraktiv war, weil da gab es vorher halt nur Papier oder gar nichts“ (Interview G), so ein Interviewpartner in der Rückschau. Da sich die Kompostierung im Aufbau befand und die Haushalte dazu gebracht werden sollten, Bioabfälle getrennt zu sammeln, erkannten Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe wie *Novamont*, *Biotec* oder die *BASF* dieses Produkt als potentiell erfolgreiche Anwendung und brachten selbst oder in Kooperation mit andere Unternehmen solche Abfallbeutel in den 1990er Jahren auf den Markt. Der Bioabfallbeutel sollte eine hygienische Sammlung der Bioabfälle möglich machen und anschließend gemeinsam mit seinem Inhalt zu Kompost verarbeitet werden. Von dieser Idee konnten die Hersteller auch einige deutsche Kommunen überzeugen. So wurden z. B. in Fürstfeldbruck und in Kempten bereits in den 1990er Jahren Abfallbeutel aus biologisch abbaubaren Kunststoffen eingeführt, die dort bis heute zur Bioabfallsammlung verwendet werden (Interview H).

Die Marktschaffungsversuche waren allerdings, wie ich einleitend dargestellt habe, nicht auf den kompostierbaren Bioabfallbeutel beschränkt. Während einige Hersteller Verpackungen schon in den 1990er Jahren als „ein sehr gefährliches Geschäft“ (Facco, zit in: Küffner 1998: 4) einschätzen, war ihnen angesichts seiner Größe auch bewusst, dass der Verpackungsbereich „die bei weitem größten Absatzpotentiale für biologisch abbaubare Werkstoffe“ (Reske 1998: 140) bot. In den 1990er und 2000er Jahren versuchten Kunststoffanwender immer wieder kompostierbare Verpackungen zu vermarkten. Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, hatte Wella bereits in den

1990er Jahren die ‚kompostierbare Shampoo-Flasche‘ auf den Markt gebracht und Danone den kompostierbaren Joghurtbecher aus PLA eingeführt. Im Rahmen des Modellprojekt Kassel in den frühen 2000er Jahren wurden eine Reihe von kompostierbaren Verpackungen testweise vermarktet; und die Drogeriemarktkette *Ihr Platz* versuchte es noch 2006 mit der Einführung von Getränken in ‚kompostierbaren Flaschen‘ aus PLA.

Wenn Unternehmen neue Märkte stabilisieren wollen, versuchen sie dies häufig über die Beeinflussung der formal-institutionellen Einbettung, also über die Veränderung von Gesetzen und Regulationen zu ihrem Vorteil (Doganova und Karnøe 2015; Fligstein 2001; Kjellberg, Azimont und Reid 2015). Die strategische Ausrichtung der Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe auf den Verpackungsbereich drückt sich daher besonders deutlich in dem (für einen gewissen Zeitraum erfolgreichen) Versuch aus, Einfluss auf die staatliche Regulation von Verpackungsmärkten zu nehmen. So wurde beispielsweise schon 1998 eine Sonderregelung für „Kunststoffverpackungen, die überwiegend aus biologisch abbaubaren Werkstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt sind und deren sämtliche Bestandteile kompostierbar sind“ (BGBl 1998a: 2385), geschaffen. Diese sollte die die Inverkehrbringer solcher Verpackungen von der *flächendeckenden* Rücknahme befreien (ebd.). Im Rahmen der dritten Novelle der Verpackungsverordnung im Jahr 2005 wurde die Sonderregelung auf Initiative des Branchenverbands IBAW. e.V. auf alle „Kunststoffverpackungen, die aus biologisch abbaubaren Werkstoffen hergestellt sind und deren sämtliche Bestandteile gemäß einer herstellerunabhängigen Zertifizierung nach anerkannten Prüfnormen kompostierbar sind“, erweitert und bis 2012 verlängert, sofern die Inverkehrbringer sicherstellten, „dass ein möglichst hoher Anteil der Verpackungen einer Verwertung zugeführt wird“ (BGBl 2005: 1409). Spätestens mit der Einführung solcher Sonderregelungen schien es so, als ob die Menge an kompostierbaren Verpackungen in der Biotonne in Zukunft deutlich zunehmen würde. Auf welche Reaktion stieß diese Zukunftsaussicht in der Kompostwirtschaft?

In der Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen war den Kompostanlagenbetreibern die Rolle der Entsorger und Verwerter von biologisch abbaubaren Kunststoffen zugeschrieben worden. Angesichts der Aussicht, dass in Zukunft eine zunehmende Menge an Verpackungen in ihren Kompostanlagen auftauchen würden, regte sich allerdings Widerstand auf Seiten der Kompostwirtschaft gegen die ihnen zugeschriebene Rolle. Die Hauptsorge der Kompostwirtschaft richtete sich, ähnlich wie jene der Recyclingwirtschaft, auf die potentiellen Auswirkungen der neuen Kunststoffe auf die Effizienz ihrer Produktionsprozesse und

die Qualität ihres Produkts – des Komposts. So hängt die Qualität des Komposts von der Qualität des Inputmaterials ab – in diesem Fall also des Bioabfalls. Qualität bedeutet dabei u. a. eine möglichst geringe Menge an Stoffen, die den Kompostierungsprozess oder den Kompost als Endprodukt beeinträchtigen können. Um eine hohe Qualität sicherzustellen, wurden Qualitätskriterien eingeführt, deren Einhaltung bis heute von der *Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.* (BGK) überwacht wird. *Konventionelle* Kunststoffe im Kompost gelten nach diesen Qualitätskriterien als Fremd- oder Störstoffe, die durch sogenannte „Fehlwürfe“ der Bürger fälschlicherweise in die Biotonne gelangen und durch händische oder mechanische Verfahren aussortiert werden müssen. Welches Problem sah die Kompostwirtschaft aber in *kompostierbaren* Kunststoffen?

Eine Lektüre von Positionspapieren der Kompostwirtschaft verdeutlicht, warum die Entsorgung von Produkten aus biologisch abbaubaren Kunststoffen über die Biotonne von der Kompostwirtschaft weitestgehend abgelehnt wurde. Ein wesentliches Risiko sahen die Verbände der Kompostwirtschaft in der Vermischung von Stoffströmen aufgrund der mangelhaften Unterscheidbarkeit zwischen konventionellen und biologisch abbaubaren Kunststoffen. Zwar versuchten die Hersteller der Stoffe mit der Einführung eines Labels für kompostierbare Verpackungen eine bessere Sicht- und Unterscheidbarkeit der Produkteigenschaften für den Verbraucher zu erreichen (siehe zur Sichtbarkeit der Produkteigenschaften von Biokunststoffen auch Tonuk 2016). Allerdings bestand wie auch bei den Recyclingverbänden auf Seiten der Kompostwirtschaft die Befürchtung, dass durch die Einführung von biologisch abbaubaren Verpackungen die Fehlwurfproblematik weiter zunehmen könnte, da der Bürger nicht zwischen beiden Kunststoffarten trennen würde können. Man sah also die für einen qualitativ hochwertigen Kompost notwendige „Sortierdisziplin des Bürgers bei der Getrenntsammlung“ (zit. in: Niedersächsisches Umweltministerium 1999: 45) in Gefahr:

„In der Vergangenheit waren die Öffentlichkeitsarbeit und die Sortiervorgaben derart ausgerichtet, Kunststoffe bei der Bioabfallsammlung auszuschließen. Nun soll der Verbraucher plötzlich ganz anders handeln: Gestern die Plastiktüte noch in den „gelben Sack“, heute in die Biotonne? Das ist kaum zu vermitteln“ (Bundesgütegemeinschaft Kompost 1998).

Zudem antizipierte die Kompostwirtschaft auch innerhalb von Kompostieranlagen ein zusätzliches Sortierproblem. Bei der Störstoffauslese seien die neuen Stoffe „trotz Kennzeichnung von normalen Kunststoffen (Fehlwürfen) nicht zu unterscheiden. Die Folge ist, daß beide Stoffe aussortiert werden“ (ebd.). Während die Aussortierung von konventionellen Kunststoffen in der

Kompostanlage lediglich eine klare „Ja-/Nein-Entscheidung“ verlange, würde bei der Entsorgung von biologisch abbaubaren Kunststoffprodukten über die Biotonne „jeder einzelne Kunststoffabfall identifiziert werden“ (zit. in: Niedersächsisches Umweltministerium 1999: 48) müssen, was den Sortieraufwand und damit die Kosten für den Kompostierprozess erhöhen würden.¹⁸

Der Konflikt zwischen den Herstellern biologisch abbaubarer Kunststoffe und der Kompostwirtschaft drückt sich auch in Uneinigkeiten im Hinblick auf die Praxisfähigkeit der entwickelten Industrienorm aus. So wiesen Vertreter der Kompostwirtschaft auf die Diskrepanz zwischen der technischen Norm und der Realität innerhalb der Kompostanlage hin. Während die Norm vorschrieb, dass nach 12 Wochen höchstens 10% des ursprünglichen Kunststoffmaterials in einer 2mm-Siebfraktion enthalten sein durfte, arbeiten Kompostieranlagen aus Kostengründen häufig mit kürzeren Rottezeiten. Daher, so die Befürchtung der Kompostanlagenbetreiber, würde die in der Norm veranschlagte Zeit für den Abbau der Kunststoffe häufig unterschritten. Eine Zunahme der Stoffe im Bioabfall würde dementsprechend dazu führen, dass die Rottezeiten in der Kompostanlage unnötig verlängert werden müssten und Kunststoffreste möglicherweise im Kompost verbleiben würden (ebd.: 49). Die Diskrepanz zwischen Norm und Praxis führte im Laufe der Zeit auch zu einem wahrnehmbaren Bruch zwischen den Herstellern und der *Bundesgütegemeinschaft Kompost*. Nachdem die BGK zunächst in den Normierungs- und Zertifizierungsprozess involviert war, stieg sie 2010 aus den Gremien zur Kompostierbarkeitszertifizierung aus, da „nach ihrer Ansicht die gewählten Testmethoden und Zeiträume die Praxis der professionellen Kompostierung nicht ausreichend berücksichtigen“ (Verband Humus- und Erdenwirtschaft 2014: 1). Mit dem Ausstieg der BGK aus den Gremien der Zertifizierung war im Grunde auch die Stabilisierung des anvisierten Marktes durch Normierung gescheitert.

¹⁸ Auf praktische Probleme im Kompostierungsprozess weisen auch Befragungen bzw. Praxisstudien aus den 2000er Jahren hin. Eine Befragung unter 15 Kompostanlagenbetreibern kam zum Ergebnis, dass eine Kompostierung von biologisch abbaubaren Kunststoffen in jeder der untersuchten Anlage nur dann garantiert werden könne, wenn eine saubere, getrennt gesammelte Fraktion mit wenigen Verunreinigungen als Ausgangsmaterial diene. Im Gegensatz dazu könne eine Kompostierung von biologisch abbaubaren Kunststoffen, die gemeinsam mit dem Biomüll gesammelt würden, nur in solchen Anlagen durchgeführt werden, in denen die Störstoffauslese *nach* dem Kompostierprozess stattfindet. Die Autoren der Studie sprachen sich daher für eine Einschränkung der Markteinführung von Produkten aus biologisch abbaubaren Kunststoffen aus bis zu dem Zeitpunkt, „when it can be determined that biodegradation of BDPs in each composting facility is possible (or not possible) and a rational collection process is established using that information“ (Körner, Redemann und Stegmann 2005: 415).

Der Widerstand der Kompostierwirtschaft gegen das Entsorgungskonzept der Kunststoffhersteller fand auch Einzug in die gesetzliche Regulation der Biotonne. Seit 1998 regelt die Bioabfallverordnung die Verwertung von Bioabfällen in Deutschland. Dazu enthält die Verordnung in ihrem Anhang eine Liste von Abfällen, die zur Bioabfallverwertung zugelassen sind.¹⁹ Abgesehen von der Sonderregelung in der Verpackungsverordnung wäre es notwendig gewesen, biologisch abbaubaren Kunststoffen, einen Platz auf dieser Liste zu verschaffen, um den anvisierten Markt zu stabilisieren. Angesichts der unterschiedlichen Interessenlagen war der Platz biologisch abbaubarer Kunststoffe auf der Liste aber umstritten.

Für biologisch abbaubare Produkte galt seit 1998, dass ihre Verwertung als Bioabfall gestattet war, wenn sie aus nachwachsenden Rohstoffen bestanden und ihre Abbaubarkeit aufgrund einer technischen Norm nachgewiesen werden konnte (BGBl 1998b: 2968). Darin spiegelte sich die politische Förderung nachwachsender Rohstoffe in den 1990er Jahren wider. Aufgrund der technischen Anforderungen an Verpackungsmaterial bestanden allerdings die meisten Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen nicht zu einhundert Prozent aus pflanzlichen Rohstoffen. Die angestrebte Öffnung der Biotonne für alle kompostierbaren Produkte unabhängig von der Rohstoffgrundlage scheiterte jedoch am Widerstand im *Bundesrat*. Schon die erste Änderungsverordnung des *Bundesumweltministeriums*, mit der biologisch abbaubare Kunststoffe aus fossilen und nachwachsenden Rohstoffen gleichgestellt werden sollten, wurde im Bundesrat nur akzeptiert, „soweit diese nicht über die Biotonne entsorgt werden“ (Bundesrat 1998: 2). Dabei bezog sich der *Bundesrat* in seiner Begründung auf die Stellungnahmen der Verbände der Kompostwirtschaft, die sich aus den oben genannten Gründen „gegen eine Erfassung von Produkten aus biologisch abbaubaren Werkstoffen über die Biotonne ausgesprochen haben“ (ebd.: 3).

Auch als die Bioabfallverordnung nach einem langen Abstimmungsprozess im Jahr 2012 tatsächlich novelliert wurde, konnten die Länder eine Öffnung der Biotonne für Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen verhindern. So enthielt der ursprüngliche Änderungsvorschlag einen Passus zu biologisch abbaubaren Verpackungen, die, sofern sie überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt und als kompostierbar zertifiziert waren, zur Verwertung

¹⁹ Vor 1998 wurde die Verwertung von Bioabfällen über das Merkblatt M10 der Bundes/Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall geregelt, das biologisch abbaubare Kunststoffe als Inputmaterial zur Kompostierung erlaubte, wenn eine schadlose Kompostierfähigkeit nachgewiesen werden konnte, sonst aber keine weiteren Spezifikationen vorschrieb (Jördens 1996: A/9).

als Kompost zugelassen werden sollten (Endres und Siebert-Rath 2009: 85). Das Bundesland Rheinland-Pfalz beantragte allerdings erfolgreich die Streichung des Passus zu *Verpackungen* aus biologisch abbaubaren Kunststoffen von der Liste der zulässigen Bioabfälle. Zwar wurde „unter umweltpolitischen Gesichtspunkten“ (Bundesrat 2011: 1) die Substitution konventioneller Kunststoffe durch Kunststoffe aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen befürwortet. Die Öffnung der Biotonne für diese Stoffe sei allerdings aufgrund der zu erwartenden Fehlwurfproblematik nur unter Einschränkungen vertretbar. Während *Verpackungen* der Zugang zur Biotonne verwehrt werden sollte, erwartete man keine Fehlwurfproblematik für kompostierbare Abfallbeutel, die zur hygienischen Sammlung von Bioabfall bestimmt seien. Diese sollten also explizit in die Liste der verwertbaren Bioabfälle aufgenommen werden (ebd.: 2). Gemäß diesen Änderungen nahm der Bundesrat die Novellierung der Bioabfallverordnung an (BGBl 2013).

Damit war die anfängliche Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen auch politisch gescheitert. Gemäß der neuen Regulation wurde die Entsorgung von kompostierbaren Verpackungen in der Biotonne ausgeschlossen. Allein der für Biomüll designierte Abfallbeutel (und kompostierbare Abdeckfolien für Landwirtschaft und Gartenbau) durften in Zukunft über die Biotonne entsorgt werden. Allerdings bedeutet diese generelle Erlaubnis für den Bioabfallbeutel keinesfalls, dass alle Kommunen das Produkt zur Bioabfallsammlung zuließen. So blieb der *Verband der Humus- und Erdenwirtschaft* auch nach der Novelle der Bioabfallverordnung bei der Position, dass Abfallbeutel aus biologisch abbaubaren Kunststoffen nicht grundsätzlich für die Sammlung des Biomülls eingesetzt werden sollten, sondern eine enge Absprache zwischen den Herstellern und den einzelnen Kommunen und lokalen Anlagenbetreibern stattfinden müsse (Verband Humus- und Erdenwirtschaft 2014: 3).

Mit der Novellierung der Bioabfallverordnung verengte sich das Vermarktungspotential für biologisch abbaubare Kunststoffe also deutlich. Ohne den Platz auf der Liste zulässiger Bioabfälle, d. h. ohne den Zugang zur Biotonne und zu den angeschlossenen Kompostieranlagen, konnten die Hersteller das ursprüngliche Wertversprechen der Kompostierbarkeit kaum mehr realisieren. Zwar gelang es ihnen mithilfe einer Reihe von Pilotprojekten in Kompostanlagen und Praxisstudien zur Fehlwurfproblematik und zur Steigerung der gesammelten Bioabfallmenge die Biotonne in einigen Kommunen für das Produkt des kompostierbaren Bioabfallbeutels zu öffnen (Interview I). Im Jahr 2016 empfahlen ca. 13 Prozent der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, die eine

flächendeckende Bioabfallsammlung anbieten, ihren Bürgern explizit die Nutzung solcher Abfallbeutel. 32 Prozent der Kommunen untersagten allerdings explizit die Nutzung der Beutel, während der Rest keine genauen Angaben dazu macht (Richter et al. 2016: 533). Somit existiert der Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe in Deutschland heute auf einem geringen Niveau und konzentriert sich im Grunde auf den Bioabfallbeutel. Der Markt steht dabei weiterhin in einem Spannungsverhältnis zwischen jenen, die den kompostierbaren Bioabfallbeutel als Problem betrachten und dementsprechend ablehnen, und den Herstellern, die die einzelnen Kommunen und Kompostanlagenbetreiber durch Praxistests von ihrem Nutzen überzeugen müssen. Vorstöße in andere Produktbereiche werden, wie Stellungnahmen der BGK zeigen, von der Kompostwirtschaft weiterhin abgelehnt. Als Reaktion auf die zunehmende Einführung kompostierbarer Kaffeekapseln in jüngerer Zeit rät die BGK den Gebietskörperschaften „derartige Produkte per Abfallsatzung oder Vorsortiervorgaben für die Haushalte von der Biotonne eindeutig auszuschließen“ (Kehres 2015: 9).

„Innovation“, schreiben Madeleine Akrich, Michel Callon und Bruno Latour, „is perpetually in search of allies. It must integrate itself into a network of actors who take it up, support it, diffuse it“ (Akrich et al. 2002: 203f.). Damit also technologische Innovationen erfolgreich implementiert werden können, müssen sie Unterstützer mobilisieren, die das Neue aufnehmen und stabilisieren. Dabei sind Innovationsprozesse häufig durch unterschiedliche Interessenlagen, Konflikte und Widersprüche gekennzeichnet, vor allem dann, wenn das Neue auf bestehende Institutionen und technische Infrastrukturen trifft. Die Realisierung der Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen war auf die Unterstützung durch die Kompostwirtschaft angewiesen. Kompostanlagenbetreiber ließen sich aber aufgrund ihrer eigenen ökonomischen Interessen nicht für die Vision einer alternativen Entsorgungsoption für Kunststoffverpackungen mobilisieren. Wenn sich, wie in diesem Fall, die Interessen unterschiedlicher Akteure nicht angleichen lassen, scheitert die Stabilisierung anvisierter Märkte.

7.4. Kein gesamtökologischer Vorteil: Delegitimation durch den Umweltschutz

In den zwei vorangegangenen Kapiteln habe ich die problematische und größtenteils gescheiterte Einbettung biologisch abbaubarer Kunststoffe in die deutsche Entsorgungswirtschaft rekonstruiert. In diesem Kapitel widme ich mich abschließend dem Faktor *Legitimität* und greife hierzu das Konzept der Prüfung ökologischer Wertversprechen wieder auf. In den späten 1980er Jahren war bereits die erste Generation ‚abbaubarer Kunststoffe‘ an der Prüfung durch den organisierten

Umweltschutz gescheitert. Die in den 1990er Jahren entwickelten Normen und Prüfverfahren für Kompostierbarkeit konnten die ersten ‚abbaubaren Kunststoffe‘ nicht erfüllen und wurden dementsprechend aus der entstehenden Produktkategorie der biologisch abbaubaren Kunststoffe ausgeschlossen. Wie reagierten Umweltschützer auf die neue Kategorie biologisch abbaubarer Kunststoffe?

Das folgende Kapitel untersucht abermals die Prüfung ökologischer Wertversprechen durch Instanzen des Umweltschutzes: dazu zähle ich in diesem Kapitel staatliche Börden, wie das *Umweltbundesamt* oder das *Niedersächsische Umweltministerium*, Umweltforschungsinstitute wie z. B. das *Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg* (Ifeu) und Umwelt- und Verbraucherschutzorganisationen wie z. B. die *Deutsche Umwelthilfe*. Bei der Prüfung der ökologischen Wertversprechen ging es nicht mehr primär um die Frage, ob die Stoffe auch tatsächlich biologisch abbaubar sind. Neben ihrer abfallwirtschaftlichen Leistung wurden die neuen Stoffe in Bezug zu einer Reihe umweltrelevanter Kriterien gesetzt und so auf ihren ‚gesamtökologischen‘ Wert hin überprüft.

Intensivierung der Landwirtschaft und Verschleierung notwendiger Verhaltensänderung

Waren die Hersteller von biologisch abbaubaren Kunststoffen zunächst davon ausgegangen, dass ihre Marktschaffungsversuche aufgrund der Bedeutung umweltpolitischer Themen gerade in Deutschland erfolgreich sein würden, stießen sie hier bereits zu Beginn auf Skepsis und Ablehnung von Seiten des organisierten Umweltschutzes. Instanzen des Umweltschutzes sahen, noch bevor biologisch abbaubare Kunststoffe tatsächlich in größerem Umfang kommerziell erhältlich waren, in kompostierbaren Verpackungen keinen „Umwelthit“ (Schenkel 1991: 73) und kommunizierten ihre negativen Erwartungen in der Öffentlichkeit (K. Westermann 1994: 511ff.). Für diese ablehnende Haltung waren vor allem zwei Aspekte ausschlaggebend.

Der erste Aspekt betrifft die Produktion von Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen. Während Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen von Herstellern und Politik als Weg in eine erdölfreie Kunststoffökonomie und damit als ökologische Verbesserung präsentiert wurden, äußerten Umweltschützer die Sorge vor dem damit verbundenen ökologischen Risiko einer Intensivierung der industriellen Landwirtschaft (ebd.). In der öffentlichen Auseinandersetzung um die Einführung der neuen Verpackungsmaterialien wiesen sie darauf hin, dass für die Herstellung biologisch abbaubarer Kunststoffe vor allem landwirtschaftliche Erzeugnisse wie Mais oder Kartoffeln

verwendet würden, die zumeist in „agro-industrieller Form“ (Halbekath 1994: 513), d. h. „mit harter Agrarchemie erzeugt“ (Waskow 1994: 518) werden. Umweltschützer artikulierten also neue *matters of concern*, die mit einer biobasierten Kunststoffproduktion einhergehen und die von den Herstellern nicht adressiert wurden. Dazu gehörte die Sorge vor einer Reihe von Umweltschäden durch die Intensivierung der Landwirtschaft wie die Belastung von Böden und Gewässern durch Dünger, eine Beeinträchtigung der Biodiversität oder Bedenken gegenüber dem Einsatz von Gentechnik bei der Produktion von biologisch abbaubaren Kunststoffen. So befürchteten Umweltschützer, dass die „Herstellung von ‚Bio-Materialien‘ mit Hilfe gentechnisch manipulierten (sic!) Mikroorganismen (...) nicht abschätzbare Gefahren und Risiken“ (ebd.) berge. Auch sei aus Erfahrungen mit der Papier- und Zellstoffindustrie abzuleiten, dass die Produktion von Verpackungen aus pflanzlichen Rohstoffen „in bezug auf ihre Energiebilanz nicht generell so ökologisch sinnvoll“ (Neidhardt 1994: 520) sein könnte, wie erwartet. Da viele Umweltschutzorganisationen der Förderung nachwachsender Rohstoffe in den 1990er Jahren von Grund auf kritisch gegenüberstanden und dahinter weniger eine ökologische Motivation als vielmehr die ökonomischen Interessen der agro-industriellen Landwirtschaft erkannten, warnten sie schon zu Beginn der Marktentwicklung vor einer Einführung von Verpackungen aus den neuen biologisch abbaubaren Kunststoffen.

Zweitens wurden Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen von Umweltschützern auch aufgrund ihrer abfallpolitischen Implikationen nicht als ökologischer Fortschritt anerkannt. So stießen die Stoffe allein schon deshalb auf Kritik, weil die Hersteller ihre Marktschaffungsversuche auf Verpackungen und Einwegprodukte konzentrierten, die als Abfall in Kompostanlagen entsorgt werden sollten, und damit einem Konsumsystem Vorschub leisteten, dem sich Umweltschützer gerade entgegenstellten. Mit der Produkteigenschaft der biologischen Abbaubarkeit widersprachen die Stoffe von Grund auf dem obersten Konzept der neuen Abfallhierarchie – möglichst langlebige, stabile, wiederverwendbare Produkte herzustellen, und so Abfälle von vorne herein zu vermeiden. Während Umweltschützer bereits im Rahmen der politischen Debatte um die Verpackungsverordnung eine *Reduktion* von Einwegverpackungen angestrebten hatten, boten die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe lediglich eine Substitution oder Ergänzung von konventionellen Kunststoffen an.

Dieser nachgelagerte, technische Ansatz zur Lösung der Abfallproblematik wurde von Umweltschützern nicht als Fortschritt im Sinne der Umwelt angenommen. Ihre Vision für die

Zukunft bestand in der präventiven Abfallvermeidung und damit in einer Verhaltensveränderung von Produzenten und Konsumenten. Anstelle einer bloßen Substitution von Verpackungsmaterialien stritten sie für Einwegverbote, die Einführung und den Erhalt von Mehrwegsystemen und damit für den „Verzicht auf überflüssige Verpackungen“ (Halbekath 1994: 512). Abfälle sollten nicht einfach nur umweltfreundlicher verwertet oder entsorgt werden, sondern gar nicht erst entstehen. Die Verwertung von Kunststoffabfällen durch Recycling oder Kompostierung war aus Sicht vieler Umweltschützer somit immer nur der zweitbeste Umgang mit dem Abfallproblem, der vom eigentlichen Ziel der Abfallvermeidung ablenkte. Aus ihrer Perspektive lag also

„ein gravierender Nachteil solcher Verpackungen aus den relativ unendlichen Ressourcen nachwachsender Rohstoffe (...) darin, daß sie beim Verbraucher, Hersteller und Konsumenten nicht zu einer Verhaltensveränderung in Richtung einer Müllvermeidung führen. Nach wie vor ist auch eine Verpackung aus nachwachsenden Rohstoffen eine Einwegverpackung, die die Ex-und-Hopp-Mentalität unserer Gesellschaft unterstützt“ (Waskow 1994: 517).

Sowohl im Hinblick auf ihre Produktion als auch hinsichtlich ihrer Entsorgung waren biologisch abbaubare Kunststoffe also mit Produktions- und Konsumsystemen verknüpft, die aus Sicht von Umweltschützern der Vergangenheit angehören sollten. Die Fortführung der industrialisierten Landwirtschaft und der Einwegsysteme im Verpackungsbereich stand den ökologischen Erwartungen von Umweltschützern an die zukünftige Kunststoffökonomie geradezu diametral gegenüber. Schon lange bevor biologisch abbaubare Kunststoffe in der abfall- und umweltpolitischen Diskussion aufgetaucht waren, hatten Umweltschützer jene Produktions- und Konsumsysteme, in die biologisch abbaubare Kunststoffe verwickelt waren, als ökologische Probleme markiert. Dementsprechend konnten sie in kompostierbaren Verpackungen keine ökologische Innovation erkennen, sondern vielmehr nur die Gefahr, dass sich die von ihnen kritisierten Produktionsbedingungen der Landwirtschaft und der gesellschaftliche Umgang mit Abfällen zementieren würden. Umweltschützer hatten also eine ganz andere Vision für die zukünftige Kunststoffökonomie.

Schon an dieser frühen Kritik an biologisch abbaubaren Kunststoffen wird deutlich, dass sich die Prüfung der ökologischen Wertversprechen jetzt nicht mehr nur auf die Frage bezog, ob die Stoffe einen Beitrag zur geordneten Abfallentsorgung leisten könnten. Während die ‚abbaubaren Kunststoffe‘ der ersten Generation in den 1980er Jahren noch primär auf ihre Entsorgungsqualitäten hin überprüft wurden und daran gescheitert waren, weitete sich die Prüfung

ökologischer Wertversprechen jetzt auf eine Reihe von messbaren Parametern aus, mit denen die Umweltwirkungen von Produkten verglichen werden sollten. Die zunehmende Bedeutung von Ökobilanzen als Bewertungsinstrumente für den gesamten ‚Lebensweg‘ von Produkten trug zur Ausweitung von Bewertungskriterien bei. Mit zunehmender Präsenz der Stoffe in abfallpolitischen Diskussionen und in Supermarktregalen wurde die Umweltfreundlichkeit der Kompostierung als Entsorgungsoption für Verpackungen einer kritischen Überprüfung unterzogen. Über die reine Entsorgungsfrage hinaus sollten Ökobilanzen außerdem den ‚gesamtökologischen‘ Wert von biologisch abbaubaren Kunststoffen bestimmen und vergleichbar machen.

Zerstörung von Energie und fehlender gesamtökologischer Vorteil

Die Ausweitung der Prüfungskriterien, die nun an biologisch abbaubare Kunststoffe angelegt wurden, zeigt sich beispielsweise in der Auseinandersetzung um die Frage, ob die Kompostierung tatsächlich eine umweltfreundliche Option für den Umgang mit Kunststoffabfällen darstellt. Während die industrielle Kompostierung aufgrund ihrer Assoziation mit dem natürlichen Nährstoffkreislauf unter Verbrauchern möglicherweise auch heute noch als umweltfreundliche Entsorgungsmethode für Verpackungen wahrgenommen wird, äußerten Abfallexperten schon in den 1990er Jahren Zweifel an der Umweltfreundlichkeit der Kompostierung von biologisch abbaubaren Kunststoffen. So beschäftigte sich beispielsweise eine Expertenkommission des Niedersächsischen Umweltministerium Ende der 1990er Jahre mit der Frage, welcher Entsorgungsweg – Kompostierung, roh- und wertstoffliches Recycling oder Verbrennung (mit Energiegewinnung) – für biologisch abbaubare Kunststoffe aus ökologischer Sicht vorzuziehen wäre. Dabei legte die Kommission in ihrer Beurteilung jene ökologischen Prüfkriterien an, die im Kreislaufwirtschaftsgesetz von 1994 für die Bewertung der Umweltverträglichkeit von Entsorgungsmethoden festgelegt worden waren: zu erwartende Emissionen, Schonung der natürlichen Ressourcen, einzusetzende oder zu gewinnende Energie und Anreicherung von Schadstoffen (Niedersächsisches Umweltministerium 1999: 55).

Im Rahmen ihrer Bewertung kamen die Experten zu dem vielleicht überraschenden Ergebnis, dass die *Kompostierung* von biologisch abbaubaren Kunststoffen im Vergleich zu ihrer energetischen Verwertung durch *Verbrennung* „nicht als die umweltverträglichere Verwertungsart“ (ebd.) einzustufen sei. Vor allem im Hinblick auf das Bewertungskriterium des Energieverbrauchs bzw. der Energiegewinnung ging die Expertenkommission davon aus, dass die Kompostierung von

biologisch abbaubaren Kunststoffen gegenüber ihrer energetischen Verwertung im Nachteil sei. Während bei der industriellen Kompostierung von Kunststoffen durch die anfallenden Prozessschritte (z. B. Zerkleinern, Belüften, Umsetzen, Bewässern etc.) Energie verbraucht würde, könnte bei der Verbrennung von biologisch abbaubaren Kunststoffen sogar Energie gewonnen werden. Zudem könnten fossile Primärbrennstoffe und – bestünden die biologisch abbaubaren Kunststoffe zudem aus Pflanzen – die bei deren Verbrennung entstehenden CO₂- Emissionen eingespart werden (ebd.: 51).

Neben der ökologischen Prüfung unterschiedlicher Entsorgungsoptionen hatte der organisierte Umweltschutz die Hersteller von biologisch abbaubaren Kunststoffen dazu aufgefordert, die mit den Stoffen verknüpften ökologischen Wertversprechen von ihrer Produktion bis zu ihrer Entsorgung wissenschaftlich zu fundieren (Reinhardt und Giegrich 1998: 383). Dazu forderten sie die Erstellung von Ökobilanzen, in denen konventionelle mit neuen Kunststoffen verglichen werden sollten. Während in den frühen 1990er Jahre zwar begründete Zweifel am ökologischen Wert der Stoffe geäußert wurden, sollten Ökobilanzen quantifizierbare Aussagen zu deren Umweltfreundlichkeit liefern und so die ökologischen Wertversprechen der Hersteller auf eine objektive Grundlage stellen. Nur „genaue Ökobilanzen“, so forderte etwa Werner Schenkel vom *Umweltbundesamt*, seien in der Lage, „Aufschluß über den Nutzen solcher Naturkunststoffe“ zu geben. Bloße „Reizwörter“ wie „bioabbaubar“ oder „nachwachsende Rohstoffe“ hingegen genügten nicht zum „Umwelthit“ (Schenkel 1991: 73).

Zur gleichen Zeit als die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe einen Markt für ihre Innovation aufbauen wollten, gewannen Ökobilanzen als Instrumente zur Bewertung der Umweltverträglichkeit von Produkten generell an Bedeutung (Bjørn et al. 2018; Freidberg 2013). Bei der Ökobilanz handelt sich um ein quantitatives Berechnungsverfahren, das die Einwirkungen eines Produkts auf die Umwelt anhand einer Vielzahl von Kategorien von der Phase der Produktion, über den Vertrieb und die Nutzung bis zu seiner Entsorgung quantifiziert und mit anderen Produkten, die denselben Zweck erfüllen, vergleicht. Als solches Verfahren operiert die Ökobilanz in der Wirtschaft sowohl als *internes Steuerungsinstrument* für die Gestaltung von Produktionsprozessen und Wertschöpfungsketten, als *externes Marketinginstrument* zur ökologischen Qualifizierung von Produkten und als *Entscheidungsinstrument im Rahmen der umweltpolitischen Regulation* von Märkten. Als wissenschaftsbasiertes, (im Idealfall) den gesamten Lebenszyklus eines Produkts umfassendes und auf Standards beruhendes Verfahren

verspricht die Ökobilanz Objektivität und Vergleichbarkeit. Mit ihrer Hilfe soll die ökologische Qualifizierung von Produkten stabilisiert werden. Zwar haben Sozialwissenschaftler, aber vor allem Ökobilanz-Experten selbst, auf die Unsicherheiten in Ökobilanzen hingewiesen, dennoch beanspruchen die Bilanzen, ‚härtere‘ Fakten über die Auswirkungen eines Produkts auf die Umwelt zu liefern als „fuzzy boasts about eco-friendliness or naturalness“ (Friedberg 2013: 574). Beim Aufbau von Märkten für Produkte mit ökologischem Qualitätsanspruch fungieren Ökobilanzen dementsprechend als in der Wissenschaft gründende Legitimations- bzw. Deligitimationsinstrumente. Dabei weiten sie den Referenzrahmen der ökologischen Bewertung allerdings soweit aus, dass häufig kein klares Urteil über die ökologischen Vor- oder Nachteile verschiedener Produkte gefällt werden kann.

Auch im Marktinnovationsprozess der Biokunststoffe hat sich die Ökobilanz als legitimes Instrument der Überprüfung ihrer Wertversprechen etabliert. Dabei zeichnet die Studienlage – wie für Ökobilanzen typisch – bis heute ein uneinheitliches, komplexes und differenziertes Bild. Bereits die ersten Ökobilanzen, die Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen mit solchen aus konventionellen Kunststoffen verglichen, machten deutlich, dass eine einfache Abstufung der Umwelteinwirkungen verschiedener Materialien kaum möglich ist. Beispielsweise kam eine Studie der Umweltforschungsinstitute *Ifeu* und *Bifa*, die Packmittel aus Stärke und expandierendem Polystyrol (EPS) miteinander verglich, zum Ergebnis, dass sich „weder für Stärke- noch für die Polystyrol-Verwendung *grundsätzliche* Vorteile“ (Institut für Energie- und Umweltforschung und Bayrisches Institut für angewandte Umweltforschung 2002: 444, eigene Hervorhebung) feststellen lassen. Weniger die einfache Unterscheidung der beiden Materialien als vielmehr „die konkrete Ausgestaltung der Materialbereitstellung sowie der Entsorgung“ seien für das „umweltbezogene Abscheiden“ entscheidend. Dementsprechend gäbe es sowohl „sehr gute EPS- als auch Stärke-Szenarien – und jeweils in beiden Fällen auch Ausprägungen, die deutlich ungünstiger abschneiden“ (ebd.).

Eine pauschale Aussage darüber, welche Kunststoffe *grundsätzlich* der Umwelt mehr oder weniger schaden, ist auf der Grundlage von Ökobilanzen, die eine Reihe unterschiedlicher umweltwirksamer Faktoren einbeziehen, kaum möglich. Zu dieser Einschätzung kommen auch jüngere Studien, die verschiedene Ökobilanzen zu Produkten aus biologisch abbaubaren Kunststoffen zusammenfassen. In einer 2012 veröffentlichten Studie für das *Umweltbundesamt*,

die insgesamt 19 Bilanzen²⁰ eingehender analysiert, kommt das Ifeu zum Schluss, dass „sich die Umweltwirkungsprofile vieler Biokunststoffe seit ihrer Erstentwicklung stark verbessert haben“ (Institut für Energie- und Umweltforschung 2012: 100), dass allerdings weiterhin keine Pauschalaussagen über deren Umweltfreundlichkeit möglich seien. Häufig zeige sich, dass Produkte, wenn sie weitestgehend oder vollständig aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt werden und eine vergleichbare Verpackungsleistung aufweisen, vor allem in zwei Umweltwirkungskategorien – *Treibhausgasemissionen* und *fossiler Ressourcenverbrauch* – besser abschneiden als konventionelle Kunststoffe. Auf der anderen Seite seien dieselben Verpackungen im Hinblick auf andere Wirkungskategorien allerdings als ungünstiger zu bewerten. Aufgrund ihrer Herstellung aus landwirtschaftlichen Erzeugnissen würden sie z. B. bei der Versauerung und der aquatischen und terrestrischen Eutrophierung schlechter abschneiden. Daher urteilt das Ifeu: „Gesamtökologisch sind diese Biokunststoffe deshalb nicht unbedingt besser als die konventionellen Kunststoffe, stehen aber mit diesen auf einer Stufe“ (ebd.). Ähnlich fassen auch internationale Studien den ökobilanziellen Konsens zu biologisch abbaubaren Kunststoffen zusammen:

„The current picture is confusing and definitive conclusions are difficult to draw although the studies reviewed suggest that these biopolymers may not necessarily be more environmentally friendly than the petrochemical polymers they could replace at this time“ (Yates und Barlow 2013: 65).

Dieses (vorläufige) Bewertungsergebnis bedeutet für die Stoffe und daraus hergestellte Produkte, dass ihre ‚grüne‘ Positionierung höchst prekär ist und leicht angefochten werden kann. Medial vermittelte Kontroversen um einzelne Produktbeispiele zeigen dann auch, dass Vorstöße in Tüten- und Verpackungsmärkte in Deutschland von Verbraucher- und Umweltschutzorganisationen immer wieder unterbunden werden konnten. Zwei besonders prominente Beispiele, die deutlich machen, wie Marktintermediäre die Marktentwicklung beeinflussen, involvieren auf der einen Seite große Handels- und Konsumgüterunternehmen wie *Rewe*, *Aldi* und *Danone* und die *Deutsche Umwelthilfe* (DUH), ein klageberechtigter Umwelt- und Verbraucherschutzverein und einer der schärfsten Kritiker von Biokunststoffen in Deutschland auf der anderen Seite.

²⁰ Darunter fielen 8 Ökobilanzen mit ISO-Konformitätsnachweis, 5 Ökobilanzen, die sich an den ISO-Standards orientieren, aber ohne Konformitätsnachweis, 2 Studien, die nur Teilbilanzen umfassen, 2 Sachbilanz-Studien und 2 Meta- bzw. Übersichtsbilanzen. Die vollständigen Ökobilanzen bezogen sich vor allem auf unterschiedliche PLA-Verpackungen und Einwegprodukte (z. B. Joghurtbecher, Trinkbecher, Klappschale), auf kompostierbare Abfallbeutel (Stärke + PBAT bzw. PLA+ PBAT), Loosefill-Packmittel aus Stärke vs. Polystyrol, und kompostierbares Essbesteck aus Mater-Bi.

2012 hatten die beiden Einzelhändler *Aldi* und *Rewe* Plastiktüten eingeführt, die nach der europäischen Industriennorm EN 13432 als kompostierbar zertifiziert waren. Der Aufdruck auf den Tüten stellte durch Naturbilder einen positiven Bezug zwischen Tüte und Umwelt her. Der Werbespruch auf der Aldi-Tasche „Zeig der Umwelt ein Lächeln!“ unterstrich die ökologische Qualifizierung zusätzlich (Deutsche Umwelthilfe 2012a). Die *DUH* reagierte auf die Tüten mit einer Pressekonferenz und der Veröffentlichung eines „Hintergrundpapiers“, das den Lebensmittelhändlern Verbrauchertäuschung und *Greenwashing* vorwarf. Biologisch abbaubare Plastiktüten seien „keine umweltfreundliche Alternative zu Plastiktüten aus fossilen Rohstoffen“ (ebd.: 12), lautete der Vorwurf der Organisation. In ihrem Hintergrundpapier bezog sich die *DUH* dabei sowohl auf Probleme bei der Kompostierung der Tüten, die Zusammensetzung des Materials, das weiterhin fossile Rohstoffe enthielt, und die mangelnde Legitimation durch Ökobilanzen. Der Pressekonferenz folgte eine Abmahnung der Einzelhändler durch die *DUH*. Zunächst verteidigten die Unternehmen die Tüten, da sie dem Industriestandard für Kompostierbarkeit entsprachen. Letztlich unterschrieben sie jedoch Unterlassungserklärungen und nahmen die Produkte wieder aus dem Handel (Deutsche Umwelthilfe 2012b).

Ähnlich erging es auch dem Konsumgüterhersteller *Danone*, der 2011 bereits zum zweiten Mal einen Joghurt in einem Becher aus PLA auf den Markt brachte. Um dem Produkt mehr Legitimität zu verschaffen, hatte sich *Danone* für die Einführung des Bechers von der Umweltschutzorganisation *World Wildlife Fond* beraten lassen und sogar das Umweltforschungsinstitut *Ifeu* damit beauftragt, eine Ökobilanz zu erstellen, die die neuen PLA-Becher mit den zuvor verwendeten Polystyrol-Bechern verglich (Kauertz, Detzel und Volz 2011). Während *Danone* den PLA-Becher 1998 noch als „kompostierbar“ beworben hatte, stand – angesichts der mittlerweile deutlich gewordenen Probleme bei der Kompostierung – bei der Markteinführung im Jahr 2011 die Herstellung aus pflanzlichen Rohstoffen im Fokus der Marketingstrategie. „Wir müssen weg vom Erdöl“ (Ostermayr, zit in: Grossarth 2011: 18), ließ sich der Deutschland-Geschäftsführer von *Danone* in der *Frankfurter Allgemeinen Zeitung* zitieren. Den Becher bewarb *Danone* als „umweltfreundlicher“ und mit einem Hinweis auf die Herstellung aus nachwachsenden Ressourcen. Auch in diesem Fall warf die *Deutsche Umwelthilfe* dem Unternehmen *Greenwashing* und Verbrauchertäuschung vor (Deutsche Umwelthilfe 2011b).

Dabei bezog sich die *DUH* explizit auf die Ökobilanz, die im Auftrag von *Danone* selbst erstellt worden war, um den eigenen Standpunkt zu begründen (Deutsche Umwelthilfe 2011a). Daran wird

auch deutlich, dass Ökobilanzen keineswegs zwangsläufig den Streit um Produktqualitäten beenden, sondern aufgrund ihrer Uneindeutigkeit beiden Parteien als Argumentationsgrundlage dienen können. So habe die Ökobilanz dem Becher zwar Vorteile in den Kategorien Klimawandel und fossiler Ressourcenverbrauch bescheinigt, die Behauptung, es handele sich daher um einen umweltfreundlicheren Becher, ließ die *DUH* allerdings nicht gelten (ebd.). Nach Überprüfung von zwölf Wirkungskategorien waren die Autoren der Ökobilanz zum Ergebnis gekommen, dass sich „kein ökobilanzieller Vor- oder Nachteil für eines der beiden Systeme ableiten“ (Kauertz, Detzel und Volz 2011: 83) lasse. Die Vorteile in den Kategorien Klima- und fossiler Ressourcenverbrauch könnten „keinesfalls für gesamtökologische Aussagen herangezogen werden“ (ebd.: 98). Im Gegensatz zu *Danone* interpretierte die *DUH* die Werbung als umweltfreundlicherer Becher jedoch als eine solche ‚gesamtökologische Aussage‘. Besonders kritisierte die Organisation, dass die Becher keinem Recyclingprozess zugeführt würden, sondern lediglich in der Verbrennungsanlage verwertet wurden:

„Die PLA-Becher werden – im Gegensatz zu allen anderen bei Joghurtbechern eingesetzten Kunststoffen – derzeit weder getrennt sortiert, noch stofflich recycelt und im besten Fall energetisch verwertet – also verbrannt. ‚Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen müssen wie alle anderen Verpackungen Kriterien zur Minimierung von Umweltauswirkungen erfüllen. Dies beginnt bei der umweltfreundlichen Herstellung von Rohstoffen und endet bei deren Entsorgung. Das Festhalten an einer Verpackung ohne Recycling entspricht nicht dem heutigen Verständnis von Umweltverträglichkeit und Ressourcen-Effizienz‘, kritisiert Maria Elander, Abteilungsleiterin Kreislaufwirtschaft der *DUH*. ‚Wir fordern *Danone* auf, nur solche Verpackungen einzusetzen, welche tatsächlich gesamtökologische Vorteile aufweisen“ (Deutsche Umwelthilfe 2011b).

Wegen irreführender Werbung reichte die *DUH* daher Klage gegen das Unternehmen ein. Bevor es zum Gerichtsverfahren kam, unterschrieb auch *Danone* eine Unterlassungserklärung (ebd.). Im Gegensatz zu *Aldi* und *Rewe* nahm *Danone* die Becher zwar nicht aus dem Handel, verzichtete jedoch auf die Werbeaussage, und damit auf die ‚grüne‘ Positionierung des Bechers.

Beide Beispiele machen den Einfluss fehlender Legitimation durch Umweltschutzorganisationen auf die Marktentwicklung deutlich. Zum einen wurden Produkte, wie im Fall von *Aldi* und *Rewe*, direkt wieder aus dem Handel genommen. Zum anderen hatten die gescheiterten Marktschaffungsversuche auch Signalwirkung für andere potentielle Anwender. Da die neuen Stoffe nicht über den Preis mit konventionellen Kunststoffen konkurrieren können, sind sie auf eine ökologische Qualifizierung angewiesen, um „die negative Preiskonstruktion auszugleichen“ (Interview G). Scheitern die Stoffe aber an der öffentlichen Überprüfung durch Instanzen des

Umweltschutzes, verlieren sie für potentielle Anwender ihren strategischen Wert. Handels- und Konsumgüterunternehmen können sich dann nicht mehr – zumindest nicht ohne ein hohes Risiko – von ihren Konkurrenten abgrenzen und als ‚grün‘ positionieren. Dementsprechend berichteten die Interviewpartner, wie sich die Delegitimation der Stoffe durch den Umweltschutz auf die Marktschaffungsversuche auswirkte. So sei

„dann auch bei ganz anderen Kreisen nochmal die Skepsis deutlich gewachsen. (...) Bis hin dazu, dass gerade Anwender fragen, ja guck mal hier, hier habe ich ein Paper vom Umweltbundesamt und hier habe ich das DUH-Paper. Kannst du mir mal sagen, was ich da jetzt noch machen soll? Das geht ja eigentlich gar nicht, sagen die. Wie soll ich (...) dem Verbraucher jetzt sagen, die ist gut, die Verpackung? Das ist das Dilemma und das, wie gesagt, ja das breitet sich aus“ (Interview K).

Neben diesem direkten Einfluss auf die Marktentwicklung wirkte sich die Überprüfung ökologischer Wertversprechen auch auf die politische Regulation von Verpackungsmärkten aus. Während die Sonderregelung für Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen den Aufbau eines Marktes in Deutschland unterstützen sollte, wurde die Ausnahmeregelung 2012 nicht mehr verlängert. Zur Entscheidungsfindung über die zukünftige Handhabung der biologisch abbaubaren Verpackungen hatte das *Umweltbundesamt* das *Ifeu* mit einer Studie beauftragt, die eine ökologische Bewertung anhand einer Vielzahl von Ökobilanzen und Studien zu Produkten aus biologisch abbaubaren Kunststoffen vornahm. Dabei kamen die Umweltforscher zum Schluss, dass sich „[w]eder aus ökologischer Sicht noch aus abfallwirtschaftlicher Sicht (...) ein unmittelbarer Handlungsdruck für eine Fortführung der Sonderbehandlung biologisch abbaubarer Verpackungen“ (Institut für Energie- und Umweltforschung 2012: VII) ergäbe. Das Studienergebnis begründete die Empfehlung des *Umweltbundesamts* an die Bundesregierung, die die entsprechende Ausnahmeregelung auslaufen ließ (Umweltbundesamt 2012). Damit war letztlich auch der Versuch gescheitert, einen Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe über die Änderung der Verpackungsverordnung institutionell zu stabilisieren.

7.5. Zwischenfazit

Im vorangegangenen Kapitel habe ich die Frage untersucht, welche Faktoren dazu beigetragen haben, dass der Aufbau eines Marktes für biologisch abbaubare Kunststoffe in Deutschland nur auf einem sehr geringen Niveau gelungen ist und die anfängliche Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen nicht realisiert werden konnte. Dazu habe ich herausgearbeitet, wie die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe versucht haben, den anvisierten Markt zu

stabilisieren, und an welchen Konfliktkonstellationen diese Stabilisierung gescheitert ist. Zur Stabilisierung kamen unterschiedliche Strategien zur Anwendung. So versuchten die Hersteller, mit Normen und Zertifizierungsverfahren eigene Institutionen zu schaffen, die die Glaubwürdigkeit des Wertversprechens der Kompostierbarkeit stützen und die Einbettung der Stoffe in die Kompostwirtschaft ermöglichen sollten. Außerdem versuchte der Branchenverband, (zunächst erfolgreich) politischen Einfluss auf die bestehende institutionelle Einbettung von Verpackungsmärkten zu nehmen, um der Innovation der biologisch abbaubaren Kunststoffe einen Vorteil gegenüber konventionellen Kunststoffen zu verschaffen. Mit dem in Kapitel 7.1. beschriebenen *Modellprojekt Kassel* versuchten die Hersteller zudem, ihre Vision im Kleinen zu realisieren, um bestehende Zweifel an ihrer Realisierbarkeit auszuräumen. Am Beispiel des Modellprojekts habe ich versucht deutlich zu machen, dass zur Stabilisierung des anvisierten Marktes nicht nur der Aufbau neuer Marktbeziehungen mit Kunststoffanwendern notwendig war, sondern vor allem die Kooperation mit der Entsorgungswirtschaft am Ende der Wertschöpfungskette.

Mit dem angestrebten Aufbau einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen schufen die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe – zumindest konzeptionell – allerdings ein Konkurrenzsystem zum werkstofflichen Kunststoffrecycling, das in Deutschland für den abfallwirtschaftlichen Umgang mit Verpackungen politisch festgelegt war. In Kapitel 7.2. habe ich das Konkurrenzverhältnis zwischen den zwei Regulationsvisionen untersucht. Ich habe gezeigt, dass die Idee, Kunststoffe biologisch abbaubar zu machen, bereits in der Erwartungsphase der 1970er Jahre nur wenig Unterstützer in der Kunststoffindustrie mobilisieren konnte, während die Idee des Kunststoffrecyclings schon früh unterschiedliche Interessengruppen miteinander verband. Mit der Verabschiedung der Verpackungsverordnung im Jahr 1991 wurde die Recyclingvision politisch institutionalisiert. Damit war der zukünftige Umgang mit Kunststoffabfällen in Deutschland vorgegeben. Als biologisch abbaubare Kunststoffe auf dieses institutionalisierte System der dualen Abfallwirtschaft stießen, führte dies zu Kompatibilitätsproblemen. Die neue Materialklasse ließ sich einerseits nicht eindeutig in den rechtlichen Rahmen der Verpackungsverordnung einordnen, gleichzeitig stellten biologisch abbaubare Kunststoffe in der entstehenden Recyclingwirtschaft keine Wert- sondern Störstoffe dar.

Kapitel 7.3. hat sich mit dem Versuch beschäftigt, eine eigene Entsorgungsschiene für biologisch abbaubare Kunststoffe über die industrielle Kompostierung aufzubauen. Für den Aufbau einer

Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen waren die Hersteller auf die Kooperation mit der Kompostwirtschaft und den Zugang der Stoffe zur Bioabfalltonne angewiesen. Das Kapitel hat gezeigt, dass sich die Kompostanlagenbetreiber aufgrund ihrer eigenen Interessen nicht für die Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen mobilisieren ließen. Ihr Widerstand gegen das angestrebte Entsorgungskonzept übersetzte sich auch in die gesetzliche Regulation der Bioabfalltonne. Mit dem Ausschluss kompostierbarer Verpackungen von der Liste der für den Kompost zulässigen Bioabfälle war die Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen gescheitert.

Im letzten Teil des Kapitels (7.4.) habe ich abermals die Prüfung biologisch abbaubarer Kunststoffe durch den organisierten Umweltschutz in den Blick genommen. Ich habe gezeigt, dass Umweltschützer in Deutschland schon zu Beginn eine ablehnende Haltung gegenüber den neuen Verpackungsmaterialien einnahmen, da sie mit einem Konsum- und Produktionssystem verknüpft waren, das Umweltschützer gerade abschaffen wollten. Dabei bezogen sich ökologische Prüfungen auf eine Vielzahl an umweltrelevanten Kriterien. Vor allem Ökobilanzen trugen dazu bei, dass die ‚gesamtökologische‘ Qualität der Stoffe einer Überprüfung unterzogen wurde. Dabei konnte ihre *generelle* Überlegenheit gegenüber konventionellen Kunststoffen nicht festgestellt werden. Somit scheiterte auch die Stabilisierung ihres ökologischen Wertversprechens. Damit verloren die Stoffe ihre Sonderstellung im Rahmen der Verpackungsverordnung und ihr strategischer Wert für Konsumgüter- und Verpackungshersteller, die sich als ‚grün‘ positionieren wollten, verringerte sich. Angesichts der Probleme bei der Marktschaffung für biologisch abbaubare Kunststoffe stellt sich die Frage, in welche Richtung sich ‚grüne‘ Kunststoffe weiterentwickelten.

8. Von der biologischen Abbaubarkeit zur Biobasiertheit

Das vorangegangene Kapitel hat sich mit der Marktentwicklung für biologisch abbaubare Kunststoffe in Deutschland auseinandergesetzt und gezeigt, welche Konfliktkonstellationen dazu beitragen, dass sich die von den Herstellern anvisierte Vision einer Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen nicht realisieren ließ. Die Widerstände im Marktschaffungsprozess für biologisch abbaubare Kunststoffe konnte ich am Beispiel von Deutschland besonders pointiert darstellen. Im Vergleich zu Ländern wie Italien und Frankreich stellte sich die Marktentwicklung in Deutschland besonders problematisch dar (Interviews G, H, K). Dennoch sind die Widerstände auf grundlegendere Konfliktkonstellationen zurückzuführen, die sich, bis auf wenige Ausnahmen, auch auf andere nationale Kontexte übertragen lassen. Beispielsweise wird das werkstoffliche Recycling von Kunststoffen heute in vielen Ländern als Entsorgungsstrategie politisch forciert und nicht nur in Deutschland warnen die Kunststoffrecycler vor dem Einfluss biologisch abbaubarer Kunststoffe auf das Kunststoffrecycling (Plastics Recyclers Europe 2018). Angesichts der Widerstände im Marktschaffungsprozess für biologisch abbaubare Kunststoffe stellt sich die Frage, was mit der Vision der biologischen Abbaubarkeit passierte. Welche Innovationstrategien verfolgten Unternehmen, die neu in den Markt für ‚grüne‘ Kunststoffe einsteigen wollten?

Um diese Fragen zu beantworten, untersuche ich im Folgenden die dritte Sequenz im Marktinnovationsprozess zwischen Mitte der 2000er Jahre und heute. Hierzu ist ein Punkt zu beachten: Ich verorte den Beginn dieser Sequenz parallel zu der im vorherigen Kapitel untersuchten Entwicklung. Die Probleme bei der Marktschaffung für biologisch abbaubare Kunststoffe lassen sich, wie ich am Beispiel von Deutschland gezeigt habe, nicht an einem bestimmten Ereignis oder Umbruchmoment festmachen. Vielmehr kristallisierte sie sich im Laufe der Zeit heraus, dass biologisch abbaubare Kunststoffe auf relativ genau definierte Nischenmärkte beschränkt bleiben würden. Dementsprechend setzte in der entstehenden Branche, parallel zum Versuch biologisch abbaubare Kunststoffe zu vermarkten, eine Auseinandersetzung darüber ein, in welche Richtung sich ‚grüne‘ Kunststoffe in Zukunft entwickeln würden.

Im Folgenden beschreibe ich drei Entwicklungsprozesse, die zeigen, dass die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit ihre zentrale Stellung als Definitions- und Abgrenzungsmerkmal ‚grüner‘ Kunststoffe verlor. Erstens wurden biologisch abbaubare Kunststoffe wie PLA zunehmend in Kunststoffanwendungen eingesetzt, bei denen das abfallspezifische

Leistungsmerkmal keine Rolle mehr spielte (8.1.); zweitens setzte ein Rekategorisierungsprozess ein, in dem das Label Biokunststoff als übergeordnete Kategorie etablierte wurde (8.2.); drittens verfolgten Unternehmen das Ziel, Polymere aus pflanzlichen Rohstoffen auf den Markt zu bringen, die nicht biologisch abbaubar sind (8.3.).

8.1. Neue Anwendungen: Biologisch abbaubare Kunststoffe in langlebigen Produkten

Während der Marktinnovationsprozess zunächst darauf abzielte, Kunststoffe und daraus hergestellte Produkte biologisch abbaubar bzw. kompostierbar zu gestalten, gab es bei Einzelnen in der Branche bereits Ende der 1990er Jahre erste Überlegungen dazu, ob man die Kompostierung von Verpackungen tatsächlich weiter forcieren sollte (Interview K). In der Berichterstattung über die Branche wurde seit den 2000er Jahren auch öffentlich über die Frage nachgedacht, in welche Richtung sich ‚grüne‘ Kunststoffe in Zukunft entwickeln würden und wie sie von konventionellen Kunststoffen abgegrenzt werden sollten.

Erste Verschiebungen in der Ausrichtung des Marktinnovationsprozesses zeichneten sich bei den *Anwendungen* der Polymere ab (Käb 2002b: 35). So stellte z. B. ein Überblicksartikel in der Fachzeitschrift *Kunststoffe* fest, dass biologisch abbaubare Kunststoffe „heute zunehmend in Anwendungen eingesetzt [würden], in denen die besonderen abfallwirtschaftlichen Eigenschaften keine Rolle spielen“ (ebd.: 37). Besonders deutlich zeigt sich diese Veränderung im Fall von PLA. Als *Cargill* Ende der 1990er mit dem Chemieunternehmen *Dow Chemical* ein Joint Venture zur Vermarktung von PLA gründete, hatte das Unternehmen bereits eine Ausweitung der Anwendungen für PLA im Blick. Während die Anwendung von PLA zunächst auf biologisch abbaubare Produkte beschränkt war, stellte der Biochemiker Patrick Gruber die Erneuerbarkeit der Rohstoffquellen in den Fokus der Qualifizierung des Polymers. So äußerte er sich über die anvisierte Positionierung von PLA im Markt Ende der 1990er folgendermaßen:

„ECOPLA biopolymers have been targeted primarily at biodegradable applications (...). While the current market for biodegradables offers many opportunities for growth, the new company will enable us to further promote the use of renewable resources in a broad range of applications“ (PR Newswire 1997).

Zu Beginn der 2000er Jahre berichtete die Kunststoffsachpresse über die ersten PLA-Produkte, bei denen die biologische Abbaubarkeit des Polymers nicht mehr im Fokus stand. Dazu gehörte etwa die Herstellung von Mode- und Sportbekleidung aus PLA-Fasern oder die Verwendung von PLA zur Herstellung von Computergehäusen und Handyhüllen (Käb 2006: 65; 2002b: 35).

Ähnliche Beispiele für langlebige Kunststoffanwendungen finden sich – wenn auch in geringem Maße – für die Produktgruppe der Stärkeblends. Dazu gehörte z. B. ein Reifen der Firma *Goodyear*, bei dem der Stärkekunststoff *Mater-Bi* des italienischen Herstellers *Novamont* eingesetzt wurde, nicht etwa um den Reifen biologisch abbaubar zu machen, sondern um den Benzinverbrauch des Autos zu senken (Käb 2004: 72; 2002b: 35). Folgt man der Berichterstattung in der Fachpresse, schienen biologisch abbaubare Kunststoffe nun also ihre Nische im Einwegbereich zu verlassen und sich neue Anwendungsfelder zu erobern.

8.2. Neue Kategorie: Von biologisch abbaubaren Kunststoffen zu Biokunststoffen

Auf der Ebene der Produktkategorien führte diese Entwicklung zu der paradoxen Situation, dass Polymere als biologisch abbaubar bzw. kompostierbar kategorisiert wurden, während in den zukünftigen Anwendungsbereichen die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit „weniger vordergründig – vielleicht sogar zu vermeiden“ (Käb 2002a: O5f.) sein würde. Produktkategorien, die sich eindeutig auf die abfallwirtschaftlichen Eigenschaften der Polymere bezogen, konnten jetzt nicht mehr das Kernmerkmal der Innovation fassen. Der Vorsitzende des Branchenverbandes bemängelte beispielsweise die eingeschränkten Vermarktungsoptionen „in einigen Spezialprodukten wie Bioabfall-Sammelsäcken oder Mulchfolien“, wenn man die Stoffe „ausschließlich im Hinblick auf ihre abfallwirtschaftlichen Besonderheiten“ (Käb 2002b: 35) betrachten würde. Auch unter den Herstellern würden daher die etablierten Produktkategorien „als zunehmend unglücklich angesehen“ und sie seien „auf der Suche nach einer umfassenderen Bezeichnung“ (ebd.) für eine neue Materialklasse, „die viele Fliegen mit einer Klappe schlägt“ (Käb 2002a: O6).

Die Veränderung von Produktkategorien kommt besonders dort zum Ausdruck, wo Branchenbeobachter darüber reflektierten, wie sich der Markt für ‚grüne‘ Kunststoffe jenseits der biologischen Abbaubarkeit in Zukunft entwickeln würde. Der Vorsitzende des Branchenverbandes prognostizierte in einem Artikel in *Kunststoffe* aus dem Jahr 2004, dass im „Vordergrund zukünftiger Materialentwicklung [...] nicht immer das Erreichen der vollständigen Abbaubarkeit der Produkte“ (Käb 2004: 69) stehen würde. Im Gegensatz zur biologischen Abbaubarkeit beschrieb er nun als „wichtiges Ziel vieler Hersteller (...), den Anteil nachwachsender Rohstoffe im Produkt zu erhöhen“ (ebd.). Während die biologische Abbaubarkeit also ihre Stellung als „Kernpunkt der Innovation“ verlor, stieg jetzt die „die Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ (ebd.) zum definitorischen Merkmal ‚grüner‘ Kunststoffe auf. Das Leistungsmerkmal der biologischen

Abbaubarkeit hatte zu diesem Zeitpunkt bereits an Legitimität verloren. Im Gegensatz dazu schien dem Verbandsvertreter eine Entwicklung, in der „die Beschreibung ‚aus erneuerbaren Rohstoffen‘ irgendwann unerwünscht“ sein würde als „kaum vorstellbar“ (Käb 2002a: O6). Die Beobachtung einer Verschiebung von Innovationszielen in Richtung biobasierter Kunststoffe teilten auch andere Branchenbeobachter (Wolf et al. 2005: 26). Ein Leiter für Technologieentwicklung des niederländischen Chemieunternehmens *DSM* brachte es auf den Punkt: „[E]mphasis has shifted from biodegradability to bio-renewability“ (Ravenstijn, zit in: Schut 2008).

Mit der Neuausrichtung von Innovationsszielen ging auch die Entwicklung einer neuen Produktkategorie für ‚grüne‘ Kunststoffe einher. Während in den 1990er Jahren die Bezeichnungen „biologisch abbaubare Kunststoffe“ bzw. „kompostierbare Kunststoffe“ dominierten, begann sich in den 2000er Jahren der Begriff Biokunststoff als neue Produktkategorie durchzusetzen. Im Namenswechsel des Branchenverbands im Jahr 2006 zeigt sich diese Rekategorisierung am deutlichsten. Während der Verband zunächst unter dem Namen *Interessengemeinschaft biologisch abbaubare Werkstoffe* firmierte, änderten die Mitglieder ihn 2006 in *European Bioplastics*. Der neue Begriff bezeichnete sowohl biologisch abbaubare als auch biobasierte, nicht-biologische abbaubare Kunststoffe (Käb 2004). Dieser Rekategorisierungsprozess führte also zu jener begrifflichen Uneindeutigkeit, die bis heute das Feld der Biokunststoffe auszeichnet. So umfasste die neue Produktkategorie der Biokunststoffe nun *drei* verschiedene Subkategorien, die jeweils ein anderes Modell ‚grüner‘ Kunststoffe repräsentierten und dementsprechend auch miteinander im Wettbewerb standen (Interview G). Wurde zuvor zwischen biologisch abbaubaren Kunststoffen auf petrochemischer Basis und auf pflanzlicher Basis unterschieden, stiegen nun *nicht biologisch abbaubare Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen* zu einer dritten Kategorie innerhalb der Materialfamilie der Biokunststoffe auf.

Die neue Produktkategorie der *nicht biologisch abbaubaren Biokunststoffe* wurde von Herstellern und Branchenbeobachtern als besonders erfolgsversprechend eingeschätzt (Endres und Siebert-Rath 2009: 23). Die Erwartungen an die neue Kategorie kommen einerseits in Marktprognosen zum Ausdruck. Der Branchenverband erwartete im Jahr 2009, dass die neue Produktkategorie zwei Jahre später bereits 38 Prozent der Gesamtproduktionskapazität ausmachen würde, während die Kategorie der biologisch abbaubaren Kunststoffe zwar in absoluten Produktionsmengen weiter wachsen, anteilmäßig aber schrumpfen würde (siehe Abb. 14). Für biologisch abbaubare Kunststoffe auf petrochemischer Rohstoffbasis wurde nur noch ein geringes Wachstum erwartet.

Auch daran wird deutlich, dass sich nun die Erneuerbarkeit der Rohstoffquelle zum zentralen Abgrenzungsmerkmal der neuen Kategorie der Biokunststoffe entwickelte. Andererseits brachten Branchenbeobachter ihre Erwartungen an die neue Kategorie dadurch zum Ausdruck, dass sie eine Abgrenzung aufeinanderfolgender Technologiegeneration vornahmen und dadurch die neue Kategorie als nächsten Schritt in der Entwicklung der Biokunststoffe präsentierten. Sowie PHBV, PLA oder Stärkeblends in den frühen 1990er als eine ‚neue Generation‘ biologisch abbaubarer Kunststoffe gehandelt wurden (siehe Kap. 6.2.), bezeichneten Branchenbeobachter nun biobasierte, nicht biologisch abbaubare Kunststoffe als „dritte Generation der Biopolymerwerkstoff“ (ebd.) bzw. als „next generation – durable bioplastics“ (Thielen 2011b: 8).

Abb. 14: Produktionskapazitäten, 2007-2011

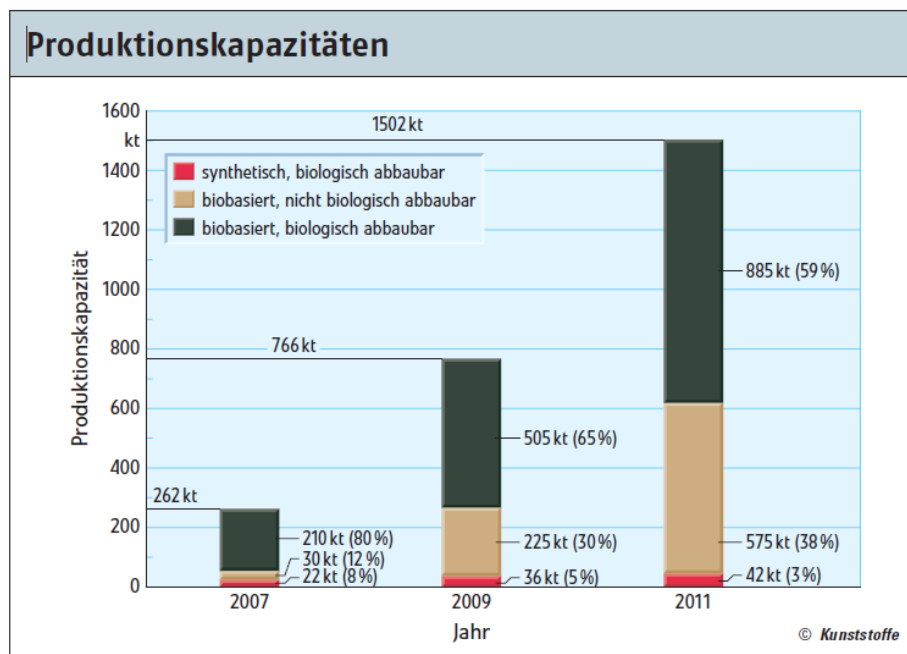


Bild 2. Entwicklung der Produktionskapazitäten im Zeitraum von 2007 bis 2011 (Quelle: European Bioplastics)

Auch der organisierte Umweltschutz hatte die Erwartung, dass die neue Produktkategorie nicht biologisch abbaubarer Biokunststoffe in Zukunft ökologische Vorteile gegenüber konventionellen Kunststoffen aufweisen könnte. Zwar waren Umweltschützer weiterhin kritisch gegenüber der industriellen Nutzung pflanzlicher Rohstoffe für die Herstellung von Einwegplastik eingestellt (Surfrider Foundation Europe et al. 2017), dennoch sprachen sie der neuen Produktkategorie Optimierungspotential zu. Das deutsche *Umweltbundesamt* äußerte sich auf die Frage, ob es in Zukunft Biokunststoffe geben würde, die umweltfreundlicher seien als herkömmliche Kunststoffe folgendermaßen: „Ja, diese wird es geben. Es handelt sich dabei um biobasierte Kunststoffe, die

jedoch nicht abgebaut werden können. (...) Allerdings muss ihre Herstellung noch weiter optimiert werden“ (Umweltbundesamt 2013). Und auch die *Deutsche Umwelthilfe* äußerte sich nicht vollkommen ablehnend: „Es ist wichtig, dass wir von den fossilen Rohstoffen wegkommen – und zwar irgendwann auch beim Kunststoff“ (zit. in: Wiemker 2016). Der Pfad für einen Marktinnovationsprozess, der auf die Substitution von konventionellen durch biobasierte Kunststoffe abzielt, blieb damit im Rahmen der Bewertung durch den organisierten Umweltschutz offen.

8.3. Neues Innovationsziel: Biobasierte Beständigkeit

Der Bedeutungsverlust der biologischen Abbaubarkeit als zentrales Merkmal ‚grüner‘ Kunststoffe zeigt sich ebenso an der Entwicklung konkreter Polymere der neuen Produktkategorie. Unternehmen, die seit den 2000er Jahren neu in den Markt für ‚grüne‘ Kunststoffe einsteigen wollten, orientierten sich zunehmend an der Vision beständiger Polymere, die vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Im Folgenden werde ich drei dieser neueren Polymere beschreiben, die als ‚grüne‘ Verpackungsmaterialien gehandelt werden: biobasiertes Polyethylen (PE), biobasiertes Polyethylenterephthalat (PET) und biobasiertes Polyethylenfuranolat (PEF).

Bio-Polyethylen: Die Innovationsstrategie der Drop-In-Biokunststoffe

Bei Polyethylen handelt es sich um einen der meist verwendeten konventionellen Kunststoffe überhaupt. Hergestellt wird Polyethylen durch die Polymerisation der Grundchemikalie Ethylen. Dabei kann Ethylen sowohl auf der Basis pflanzlicher Rohstoffe als auch auf der Basis petrochemischer Rohstoffe hergestellt werden. Vor dem Aufstieg der Petrochemie in den 1950er Jahren war die Dehydration von fermentativ hergestelltem Ethanol die geläufigste Methode zur Produktion von Ethylen. Während in den meisten Ländern die Ethylenherstellung bereits auf den petrochemischen Prozess umgestellt worden war, produzierten Chemieunternehmen in Brasilien noch in den 1980er Jahren Ethylen aus Ethanol auf der Basis von Zuckerrohr. Mit dem Fall der Ölpreise in den frühen 1990ern verlor diese Technologie allerdings auch in Brasilien an Bedeutung. Im Jahr 1993 schloss die letzte brasilianische Produktionsanlage für Ethylen aus Ethanol (Bohlmann und César 2006: 130).

Das änderte sich als der brasilianische Kunststoffhersteller *Braskem*, das größte Petrochemie-Unternehmen Südamerikas, um 2003 nach einem Einstieg in den Markt für ‚grüne‘ Kunststoffe

suchte. Eine Fallstudie zu Braskem deutet darauf hin, dass die Verantwortlichen bei Braskem zunächst die Entwicklung eines biologisch abbaubaren Kunststoffes im Sinn hatten (Engelman Machado 2010: 24). Zu diesem Zeitpunkt konzentrierte sich der Marktinnovationsprozess noch primär auf die Einführung biologisch abbaubarer Kunststoffe zur Herstellung kompostierbarer Produkte. Nach einer Befragung potentieller Kunden in Europa und Japan wurde den Verantwortlichen bei Braskem allerdings klar, dass sich die Nachfrage bei den Kunststoffanwendern von *biologisch abbaubaren* Kunststoffen zu *beständigen* Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen verschoben hatte (ebd.). Für den Orientierungswandel unter den Kunststoffanwendern spielte vor allem die problematische Integration biologisch abbaubarer Kunststoffe in die etablierte Recyclingwirtschaft eine entscheidende Rolle. Angesichts der in Europa und Japan existierenden technischen Recyclinginfrastrukturen hatten die Kunden *Braskem* zu verstehen gegeben, dass „it was a lot more important to have a polymer from renewable raw material than a biodegradable“ (zit. in: ebd.). Daran wird deutlich, dass gerade auch auf Anwenderseite die Probleme der Integration biologisch abbaubarer Kunststoffe in die etablierte Entsorgungsinfrastruktur des Recyclings reflektiert wurden.

So entschieden sich die Verantwortlichen bei Braskem im Jahr 2004 für die Entwicklung von *Bio-Polyethylen* – und damit für einen Biokunststoff, der zwar biobasiert, aber nicht biologisch abbaubar ist (ebd.: 26). Um Bio-PE zu entwickeln, konnte *Braskem* auf die ältere Technologie zur Umwandlung von Ethanol aus Zuckerrohr in Ethylen zurückgreifen. Im Mai 2007 kündigte Braskem den Bau der ersten kommerziellen Produktionsanlage an (Aras und Käb 2007: 154). Seit 2010 vertreibt *Braskem* Bio-PE unter dem Markennamen *I'm Green PE*, unter anderem auch in Deutschland. Beispielsweise brachte der Drogeriemarkt *Rossmann* im Jahr 2012 eine Plastiktüte aus dem neuen Material in den Handel. In der dazugehörigen Pressemitteilung rechtfertigte Rossmann die Entscheidung mit der Aussage, dass Bio-PE sich unter ökologischen Gesichtspunkten gegen biologisch abbaubare Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen durchgesetzt habe:

„Papier hat trotz wiederverwertetem Altpapier eine schlechtere Ökobilanz (...). Die alternativen Taschen aus nachwachsender Pflanzenstärke sind zwar nach einem Jahr vollständig biologisch in Erde und Wasser abbaubar, die Anbauflächen für Rohstoffe konkurrieren aber mit denen für Nahrungsmittel. Sie sind außerdem in ihrer Wiederverwendbarkeit beschränkt und nicht zu recyceln“ (Rossmann 2012).

Was hier deutlich wird, sind neue Konkurrenzverhältnisse im Markt für ‚grüne‘ Kunststoffe. So wurde Bio-Polyethylen nicht nur als Wettbewerber zu konventionellem Polyethylen positioniert, sondern konkurrierte auch mit den biologisch abbaubaren Kunststoffen aus Stärke. Dabei propagierte *Braskem* mit *Green-PE* ein anderes Konzept ‚grüner‘ Kunststoffe als die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe. *Braskems* Bio-PE gehörte zu den ersten Vertretern einer Innovationsstrategie für Verpackungskunststoffe, die heute als ‚Drop-In‘-Strategie bezeichnet wird. Mit dem Begriff ‚Drop-In‘ werden solche Biokunststoffe bezeichnet, bei denen „die konventionellen Synthesewege der petrochemischen Kunststoffe unter dem alternativen Einsatz biogener Rohstoffe beibehalten“ (Endres und Siebert-Rath 2009: 23f.) werden. Während es sich bei PHA, PLA oder Stärkeblends, chemisch betrachtet, also um *neue* Kunststoffe, mit *neuen* Eigenschaften handelt (von denen eine die biologische Abbaubarkeit ist), sind Drop-Ins *etablierte Kunststoffe* wie Polyethylen, bei denen einzig der petrochemische durch pflanzlichen Kohlenstoff ausgetauscht wird. In ihren sonstigen Eigenschaften sind konventionelle und Drop-In-Biokunststoffe vollkommen identisch. Die Einbettung der technologischen Innovation in institutionelle Rahmenbedingungen und technische Entsorgungsinfrastrukturen, die sich als Problem für biologisch abbaubare Kunststoffe herausgestellt hatte, lässt sich für Bio-PE also einfach realisieren (Morschbacker et al. 2014: 69). Bio-PE stellt das etablierte Recyclingsystem nicht in Frage. Die Anpassung an etablierte Institutionen und Infrastrukturen der Kunststoff-Entsorgungswirtschaft lässt sich auch als eine neue Stabilisierungsstrategie im Marktinnovationsprozess begreifen.

Außerdem verknüpfte *Braskem* Bio-PE mit dem – zumindest für die Qualifizierung von Kunststoffen – neuen Zukunftsdiskurs des menschengemachten Klimawandels. Da Produkte mithilfe von Ökobilanzen zu einer Vielzahl von ökologisch relevanten Wirkungskategorien in Bezug gesetzt und im Hinblick auf diese Wirkungskategorien quantitativ verglichen werden können, lassen sich Produkte auch in ganz unterschiedliche ökologische Krisenkontexte platzieren, je nachdem, wo sie einen Vorteil gegenüber anderen Produkten ausweisen können. Durch Ökobilanzen entsteht für die Hersteller eine Pluralität ökologischer Qualifizierungsmöglichkeiten. So weist ‚grünes‘ PE im Vergleich zu konventionellem PE laut *Braskem* sogar einen negativen *Carbon Footprint* auf (Clemsha 2017). Ein Artikel in *Nature/Biotechnology* erklärt den Mechanismus hinter dem Konzept eines negativen *Carbon Footprints*:

„‘We discovered not only a new route to produce plastics but a way to do it cleanly,’ says Sergio Gomes, Braskem’s project manager. Polyethylene ordinarily has a pitiful carbon footprint. When processed from oil, 2.5 kilograms of CO₂ are emitted for every kilogram of plastic produced. Green polyethylene, on the other hand, reverses the number: 2.5 kilograms of CO₂ are removed from the atmosphere for every kilogram of green plastic produced. The environmental gains derive from the fact that sugarcane is not only a renewable resource, but absorbs CO₂ in order to grow. Gomes sees Braskem’s bioplastic turning a plethora of everyday objects made of polyethylene – bags, bottles, car parts – into carbon sinks“ (Grushkin 2011: 17).

Ökologisch wertvoll ist ‚grünes‘ PE also deshalb, weil das Zuckerrohr, das zu seiner Herstellung verwendet wird, während seiner Wachstumsphase der Atmosphäre das Treibhausgas CO₂ entzieht, das dann in Kunststoffprodukten gespeichert wird, die zudem recycelt werden können. Die von vielen Umweltschützern verhassten Plastiktüten oder Plastikflaschen werden von *Braskem* so als klimaschützende Kohlenstoffsinken umdefiniert.

Während in den 1990er Jahren der politische Diskurs um wachsende Müllberge und schrumpfende Deponiekapazitäten der wichtigste Bezugspunkt für die ökologische Qualifizierung ‚grüner‘ Kunststoffe war, nimmt die Reduktion von CO₂-Emissionen heute eine zentrale Stellung bei der Differenzierung zwischen ‚grünen‘ und konventionellen Kunststoffen ein. Damit verknüpfen neue Biokunststoffproduzenten wie *Braskem* ihre Innovationen mit einer neuen Regulationsvision der *Dekarbonisierung*. Diese narrative Kopplung von Biokunststoffen und Klimaschutz steht nicht nur bei neueren Biokunststoffen wie Bio-PE im Zentrum ökologischer Qualifizierung. Auch ältere Biokunststoffe wie PLA werden gegenwärtig mit Hinblick auf ihr CO₂-Einsparpotential qualifiziert. So heißt es auch für PLA, dass die

„value proposition for PLA is the CO₂ removal from the environment and incorporation into the polymer molecule in harmony with nature’s biological carbon cycles. Specifically, the value for PLA is 1.83 kg of CO₂/kg PLA“ (Vink und Davies 2015: 169).

Diese narrative Verbindung von Kunststoff und Klimawandel nimmt seit Anfang der 2000er Jahre generell einen größeren Raum in den Qualifizierungsstrategien von ‚grünen‘ Kunststoffen ein. Beispielsweise wurde bereits im Kontext des ersten *Europäischen Programms für Klimaschutz* in den frühen 2000er Jahren versucht, Biokunststoffe in klimapolitische Zusammenhänge zu positionieren (Johansson 2000; Patel et al. 2002; 2003). Mithilfe von Prognosen berechnen Wissenschaftler seither das Treibhausgaseinsparpotential bzw. den *Carbon Footprint* von aktuellen und zukünftigen Biokunststoffgenerationen (z. B. Eerhart, Faaji und Patel 2012; Hermann, Blok und Patel 2007; Narayan 2011; Wolf et al. 2005). Und der Branchenverband verweist bei der ökologischen Qualifizierung von Biokunststoffen ebenfalls auf den

dekarbonisierenden Effekt der neuen Materialklasse (European Bioplastics 2019d). Die wachsende Bedeutung dieser Qualifizierungsstrategie ist ein weiteres Anzeichen dafür, dass sich der Kern der Innovation weg von der biologischen Abbaubarkeit und hin zur Biobasiertheit verschoben hat.

Dabei lässt sich die Qualifizierung von Biokunststoffen als Beitrag zur Einsparung von Treibhausgasemission auch als eine Art *Relegitimierung* ‚grüner‘ Kunststoffe interpretieren. Innovationsforscher haben – allerdings mit Blick auf einzelne Unternehmen – darauf hingewiesen, dass diese ein ständiges Erwartungsmanagement betreiben müssen, um die Legitimität von Innovationen aufrecht zu halten. Wenn Innovationen an Legitimität verlieren, z. B. wenn sich Wertversprechen nicht realisieren lassen, sich vormals formulierte Visionen nicht erfüllen oder auch, wenn sich der diskursive Kontext verändert, versuchen sie, durch ein „re-plotting“ von prospektiven Geschichten, d. h. durch die Verknüpfung neuer narrativer Verbindungen, neue Erwartungen zu schaffen und Legitimität wiederzugewinnen (Garud, Schildt und Lant 2014).

Was für einzelne Unternehmen und Innovationsprojekte gilt, lässt sich auch auf die Entstehung einer neuen Materialklasse übertragen. Mit der neuen Qualifizierungsstrategie nehmen Hersteller, Verband und Wissenschaftler eine ‚Rekontextualisierung‘ (Garud, Tuertscher und Van de Ven 2013: 789) von Biokunststoffen vor, d. h. sie lösen die narrativen Verbindungen zwischen Biokunststoff und Müllproblem und knüpfen neue Verbindungen zwischen Biokunststoff und Klimawandel, und versuchen so, den Stoffen neue Legitimität zu verschaffen. Dabei ist diese Rekontextualisierung nur möglich, weil ökologische Qualitäten nicht *nur* auf den physischen Eigenschaften von Produkten beruhen. Der Fall der Biokunststoffe zeigt auch, dass sich das ‚Ökologische‘ durch definitorische Offenheit auszeichnet und ökologische Produkteigenschaften nicht einfach intrinsisch vorhanden sind, sondern in einen historisch variablen Qualifizierungsprozess konstruiert werden.

Bio- Polyethylenterephthalat: Der Einfluss der Nachfrageseite

Braskem blieb nicht das einzige Unternehmen, das die Innovationsstrategie der Drop-In-Biokunststoffe verfolgte. Das lag unter anderem daran, dass sich seit Mitte der 2000er Jahre der Erdölpreis wieder deutlich im Aufwärtstrend befand. Während er in den gesamten 1990er Jahren nicht über 30 Dollar pro Barrel gestiegen war, lag er 2005 schon bei ca. 50 Dollar, 2008 bereits bei 95 Dollar und 2011 bei 107 Dollar (Statista 2019a). Angesichts dieser Preissteigerungen wurde die Innovationsstrategie der Drop-Ins von Kunststoffherstellern- und anwendern als ökonomisch

rentabel eingeschätzt. Auf die Entwicklung von Bio-PE folgte ein weiterer Innovationsprozess, der aus einem konventionellen Verpackungskunststoff einen ‚grünen‘ Biokunststoff machen soll: Bio-Polyethylenterephthalat (Bio-PET).

Polyethylenterephthalat (PET) ist wie Polyethylen ein konventioneller Standardkunststoff, der neben seinem Einsatz als synthetische Faser ebenfalls im Verpackungsbereich zur Anwendung kommt. Das wohl bekannteste PET-Produkt ist die Plastikflasche für kohlenensäurehaltige Getränke. PET ist ein günstiger, leichter und besonders klarer Kunststoff, dessen Materialität wesentlich zur Vermarktung von Mineralwasser und anderen Getränken in Flaschen beigetragen hat (Hawkins 2011: 545). Die beiden Monomere für die (geläufigste) Herstellungsweise von PET sind Monoethylenglycol und p-Terephthalsäure. Für die Produktion von konventionellem PET werden beide Monomere aus petrochemischen Rohstoffen gewonnen. Zu den weltweit größten Produzenten und Inverkehrbringern von PET-Flaschen gehört der US-Getränkehersteller *The Coca-Cola Company*.

Am Beispiel von *Coca-Cola* lässt sich die wachsende Einflussnahme der Nachfrageseite im Marktinnovationsprozess der Biokunststoffe veranschaulichen. Wurden die ersten ‚grünen‘ Kunststoffe von Chemie- und Agrarunternehmen häufig noch ohne genaue Vorstellung über deren Anwendungsbereich entwickelt (siehe Kap. 5), beeinflussen Kunststoffnachfrager wie *Coca-Cola*, die sich mit neuen Verpackungsmaterialien als umweltfreundliche Unternehmen positionieren wollen, heute, welche Polymere für welche spezifischen Anwendungen erforscht und entwickelt werden. Das erste Patent zu einem ‚biobasierten Polyethylenterephthalat‘ meldeten Wissenschaftler der *Coca-Cola Company* im Jahr 2008 an (Kriegel, Huang und Schultheis 2008). Aus dieser Patentanmeldung geht hervor, warum sie sich für eine Drop-In-Innovationsstrategie entschieden. Ähnlich wie im Fall von Bio-PE spielten bei der Interpretation erfolgsversprechender Innovationsstrategien die Probleme der Marktschaffungsversuche für die älteren Biokunststoffe eine Rolle.

Der problembehaftete Versuch PET durch PLA zu substituieren diente den Entwicklern bei *Coca-Cola* zur Legitimation ihrer eigenen Innovationsstrategie. Erstens sei der Versuch, PET durch PLA zu ersetzen, auf Verarbeitungsprobleme bei der Herstellung von Flaschen gestoßen. Zweitens habe sich die Integration von PLA-Flaschen in die etablierten Recyclingströme als problematisch erwiesen. Dieses Problem sei nur durch ‚teure Lösungen‘ – die Verwendung unterschiedlicher Flaschentypen, die Investition in neue Sortiertechnologie und neue Recyclingströme – zu

überwinden (ebd.: 1). Anstelle einer weiteren Investition in einen chemisch neuen Kunststoff, der nicht mit bestehenden Institutionen und technischen Infrastrukturen kompatibel war, bestünde daher, „the need for a PET derived from renewable resources that shares similar properties as petroleum-derived PET“ (ebd.).

Als Ziel formulierten die Forscher in ihrem Patent die Herstellung eines biobasierten PET, bei dem zumindest ein Monomer teilweise oder vollständig aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt wird. Wie genau das angestrebte ‚biobasierte PET‘ zusammengesetzt sein sollte, geht aus dem Patent, das unterschiedliche Produktionsmöglichkeiten beschreibt, noch nicht hervor. Im Mai 2009 präsentierte *Coca-Cola* der Öffentlichkeit aber bereits die erste, sogenannte *PlantBottle*. Dabei handelte es sich um eine PET-Flasche mit einem ‚biobasierten Anteil von bis zu 30 Prozent‘ (The Coca Cola Company 2009: 5). Man hatte sich also dafür entschieden, den kleineren Anteil des konventionellen PETs aus Pflanzen herzustellen. Dieser erste Innovationsschritt war für *Coca-Cola* noch ohne größeren Forschungs- und Entwicklungsaufwand möglich. Denn ein chemischer Baustein für die Produktion von Bio-PET – Mono-Ethylenglykol (MEG) – war bereits in kommerziellen Mengen in einer biobasierten Variante verfügbar (Thielen 2009). So konnte *Coca-Cola* für die erste *PlantBottle* auf bestehende Produktionskapazitäten für biobasiertes MEG zurückgreifen.

Ähnlich wie bei *Braskems* Bio-PE zielte auch *Coca-Colas* ökologische Qualifizierung von Bio-PET auf die Einsparung schädlicher Treibhausgase (im Vergleich zu konventionellem PET) und auf die Recyclingfähigkeit (im Vergleich zu biologisch abbaubaren Kunststoffen aus pflanzlichen Rohstoffen) ab:

„A life-cycle analysis conducted by Imperial College London indicates the ‘PlantBottle’ with 30 percent plant-base material reduces carbon emissions by up to 25 percent, compared with petroleum-based PET. Another advantage to the ‘PlantBottle’ is that, unlike other plant-based plastics, it can be processed through existing manufacturing and recycling facilities without contaminating traditional PET. So, the material in the ‘PlantBottle’ can be used, recycled and reused again and again“ (The Coca Cola Company 2009: 5).

Damit propagierte *Coca-Cola* wie *Braskem* das neue Konzept ‚grüner‘ Kunststoffe, das einerseits auf die Erneuerbarkeit der Rohstoffquellen und andererseits auf die Rezyklierbarkeit von Materialien setzt.

Das Rennen um die vollständig biobasierte Plastikflasche: PET vs. PEF

Mit der Präsentation der ersten *PlantBottle* gab *Coca-Cola* den Anstoß für ein neues Innovationsrennen. Denn die erste teilweise biobasierte PET-Flasche war für *Coca-Cola* nur eine Übergangstechnologie auf dem Weg zu einer rezyklierbaren Plastikflasche aus 100 Prozent pflanzlichen Rohstoffen (The Coca Cola Company 2014). In diesem bis heute andauernde Rennen um die biobasierte Plastikflasche von Morgen konkurrieren verschiedene Verfahren zur Herstellung von vollständig biobasiertem PET mit einem weiteren neuen Biokunststoff: Polyethylenfuranoat (PEF). Seit Anfang der 2010er Jahre ist Polyethylenfuranoat (PEF) zum neuen Verheißungsobjekt der Biokunststoffbranche aufgestiegen.

So investierte *Coca-Cola* zeitgleich zur Investition in Bio-PET auch in das niederländische Chemieunternehmen *Avantium* (Thielen 2012: 8). *Avantium* konzentriert sich seit 2005 auf die Herstellung sogenannter Furanverbindungen aus pflanzlichen Rohstoffen. Eine dieser Furanverbindungen ist *2,5-Furandicarbonsäure* (FDCA), eine chemische Verbindung, die schon im Jahr 2004 vom US-amerikanischen *Department of Energy* als eine der zwölf ökonomisch aussichtsreichsten biobasierten Chemikalien identifiziert wurde (Werpy und Petersen 2004: 27f.). Seit Mitte der 2000er Jahre wird für Furanverbindungen in der chemischen Forschung ein großes Marktpotential erwartet; sie gelten – wie Milchsäure und PLA in den 1980er Jahren – als neue „sleeping giants“ (z. B. Bicker, Hirth und Vogel 2003; Tong, Ma und Li 2010) der erneuerbaren Chemie. Dabei wird vor allem FDCA als „holy grail for bioplastics“ (Thielen 2016b: 17) interpretiert.

FDCA ist eine Ausgangskemikalie zur Herstellung von PEF. *Avantium* verfolgt das Ziel, PEF auf den Markt zu bringen und positioniert den Kunststoff dabei als neuen Konkurrenten zu konventionellem *und* biobasiertem PET. Die hohen Erwartungen der Branche an den neuen Stoff zeigen sich darin, dass neben *Coca-Cola* eine Reihe weiterer namhafter Unternehmen wie *Danone*, *ALPLA* und *BASF* in den Stoff investierten (Thielen 2016a: 6; 2014: 22) und die *Europäische Union* im Rahmen ihrer Bioökonomie-Strategie die Entwicklung von PEF finanziell fördert (ICIS 2017). Was erwarten Investoren von dem neuen Kunststoff? Warum wird PEF als Herausforderer für die etablierten Kunststoffe PET *und* Bio-PET gehandelt? Und was lässt sich daraus für die Frage nach dem Wandel von Innovationsstrategien in der entstehenden Biokunststoffindustrie ableiten?

Grundsätzlich sind beide Innovationen, Bio-PET und PEF, Ausdruck der Hinwendung zum Innovationsziel beständiger Kunststoffe aus pflanzlichen Rohstoffen. Dennoch handelt es sich um zwei unterschiedliche Innovationsstrategien, die miteinander um potentielle Anwender konkurrieren. Anders als Bio-PET gehört PEF nicht der Drop-In-Kategorie an. Mit PEF verfolgt *Avantium* die Strategie, ein chemisch *neues* Polymer mit *neuen* Eigenschaften zu kommerzialisieren. Anders als bei Bio-PET erhofft sich die Branche von PEF nicht mehr nur die Möglichkeit einer ‚grünen‘ Qualifizierung. Zwar spielen ökologische Leistungsmerkmale auch bei der Qualifizierung von PEF eine Rolle. So steht hier ebenfalls die Einsparung klimaschädlicher Treibhausgase und die Vision einer ‚fossil-freien Welt‘ (Avantium 2018: 9, 12) im Zentrum. Primär zielt *Avantium* bei der Qualifizierung von PEF allerdings auf dessen technische Überlegenheit ab – und damit, wie in der klassischen Kunststoffentwicklung, auf dessen *Nutzungsqualität*. Durch seine physischen Eigenschaften soll PEF vorrangig einen besseren Verpackungsschutz bieten (Thielen 2011a: 7). Die Erwartungen der Branche gründen auf diesem *technischen* Leistungsversprechen des Polymers (Interview I).

Die Entwicklung von Bio-PE, Bio-PET und PEF seit den 2000er Jahren macht deutlich, dass das Innovationsziel der biologischen Abbaubarkeit in der entstehenden Biokunststoffindustrie seine *dominante* Stellung verloren hat. Das bedeutet nicht, dass das Leistungsmerkmal der biologischen Abbaubarkeit keine Rolle mehr spielt. Auch heute werden Biokunststoffe entwickelt, die potentiell biologisch abbaubar sind – z. B. arbeitet eine Reihe von Unternehmen weiterhin an der Entwicklung und Kommerzialisierung von PHA und auch die Produktionskapazitäten von PLA wachsen weiter. Auch konnten sich in bestimmten Ländern wie Italien, Frankreich oder Spanien, auf der Grundlage von Gesetzgebungsverfahren, Märkte für biologisch abbaubare Kunststoffe im Bereich von Plastiktüten etablieren (Interviews G, H, K, I). Zwei Drittel der in Europa verkauften 100.000 Tonnen biologisch abbaubarer Kunststoffe werden für die Herstellung kompostierbarer Plastiktüten verwendet (Käb et al. 2016). Neben diesen politisch gestützten Märkten konnten sich biologisch abbaubare Kunststoffe allerdings nur in bestimmten Nischenanwendungen Marktanteile erobern. Die Produktentwicklung konzentriert sich heute auf Anwendungen, die direkt mit der Entstehung oder Sammlung von Biomüll in Verbindung stehen (Interviews K, J, H). Für den Großteil der anfänglich anvisierten kompostierbaren Verpackungen gelang allerdings kaum ein erfolgreicher Markteintritt (Interview G).

Im Vergleich dazu wuchs der Anteil biobasierter, nicht biologisch abbaubarer Kunststoffe an der gesamten Produktionskapazität seit Mitte der 2000er Jahre stetig. Aktuell dominieren sie das Feld der Biokunststoffe mit 56,8 Prozent. Kunststoffe, die das Potential zum biologischen Abbau haben, machen hingegen 43,2 Prozent der gesamten Produktionskapazität aus, wobei auch diese in Anwendung zum Einsatz kommen, in denen ihre biologische Abbaubarkeit keine Rolle spielt (European Bioplastics 2019c). Bei dieser Verteilung handelt es sich um das aktuelle Standbild einer weiterhin dynamischen Entwicklung. Die Koexistenz und der Wettbewerb zwischen unterschiedlichen Innovationsstrategien zeigt an, dass weiterhin offen ist, welche Polymere und welche Eigenschaften in Zukunft das Feld der Biokunststoffe bestimmen werden.

8.5. Zwischenfazit

Das zurückliegende Kapitel hat die Marktentwicklung ‚grüner‘ Kunststoffe seit den 2000er Jahren untersucht. Ich habe gezeigt, dass das Leistungsmerkmal der biologischen Abbaubarkeit in der entstehenden Branche an Bedeutung verlor, während die Erneuerbarkeit der Rohstoffquelle zum wichtigsten Abgrenzungsmerkmal gegenüber konventionellen Kunststoffen aufstieg. Diese Entwicklung habe ich sowohl auf der Ebene der Kunststoffanwendungen, der Produktkategorien und dem technologischen Design konkreter Polymere dargestellt. Biologisch abbaubare Kunststoffe sollten verstärkt in Produkten zur Anwendung kommen, in denen das abfallspezifische Leistungsmerkmal keine Rolle mehr spielte (8.1.). Die Suche nach neuen Anwendungsmöglichkeiten ließ die Hersteller auch an den etablierten Produktkategorien zweifeln. In der ersten Hälfte der 2000er Jahre fand ein Rekategorisierungsprozess statt, der dazu führte, dass sich der Begriff Biokunststoff als neue übergeordnete Kategorie etablierte. Biologisch abbaubare Kunststoffe wurden damit zu einer Subkategorie im Feld der Biokunststoffe (8.2.). Die neue Produktkategorie reflektierte eine Ausdifferenzierung des Feldes auf der Ebene der Polymere. So orientierten sich Unternehmen, die neu in den Markt für ‚grüne‘ Kunststoffe einsteigen wollten, nun zunehmend an der Vision von vollständig biobasierten Kunststoffen, die nicht mehr biologisch abbaubar sind. Die neue Produktkategorie wurde sowohl in der Branche als ökonomisch erfolgsversprechend wahrgenommen, und auch der organisierte Umweltschutz schien dieser neuen Innovationsstrategie aus ökologischer Perspektive nicht vollkommen ablehnend gegenüber zu stehen.

In Kapitel 8.3. habe ich die Entwicklung von drei Polymeren in den Blick genommen, an denen sich der Orientierungswandel von biologischer Abbaubarkeit zur biobasierten Beständigkeit auf

der Ebene der Polymere veranschaulichen lässt. Am Beispiel der Innovationsprozesse von biobasiertem PE, PET und PEF habe ich gezeigt, dass die Probleme bei der Marktentwicklung für biologisch abbaubare Kunststoffe in die Interpretation alternativer Innovationsstrategien einfluss. Unternehmen, die neu in den Markt für ‚grüne‘ Kunststoffe einsteigen wollten, konnten sich auf diese Probleme beziehen, um ihre Innovationen zu differenzieren. Biokunststoffe wie Bio-PE und Bio-PET konnten durch ihre einfache Integration in die bestehenden Recyclingsysteme von den älteren Biokunststoffen abgegrenzt werden. Mit der Einführung von biobasierten, nicht abbaubaren Kunststoffen definierten Unternehmen neu, was ein ‚grüner‘ Kunststoff leisten sollte. Während sich der Marktinnovationsprozess in den 1990er Jahren vor allem auf die Einführung biologisch abbaubarer bzw. kompostierbarer Kunststoffe gerichtet hatte, zielten neue Unternehmen nun auf die Substitution konventioneller Kunststoffe durch ihre biobasierten Entsprechungen ab. Am Beispiel der Entwicklung einer vollständig biobasierten Plastikflasche habe ich gezeigt, dass weiterhin unterschiedliche Innovationsstrategien um potentielle Anwender konkurrieren. Welche Kunststoffe und welche Produkteigenschaften die Kategorie der Biokunststoffe in Zukunft dominieren werden, ist damit weiter offen.

Mit diesem Kapitel schließt sich auch der Kreis meiner Untersuchung. Begonnen hatte ich die Studie mit der Beobachtung, dass es sich bei Biokunststoffen aktuell um eine mehrdeutige Produktkategorie handelt, die unterschiedliche Polymere, unterschiedliche Eigenschaften und unterschiedliche Konzepte von Umweltfreundlichkeit unter einem Label vereint. In den vorangegangenen drei Kapiteln konnte ich zeigen, dass die Mehrdeutigkeit der Produktkategorie das Resultat eines dynamischen Marktinnovationsprozesses ist, in dem sich für Unternehmen immer wieder neue Möglichkeiten boten zu definieren, was ein ‚grüner‘ Kunststoff ist.

Zusammenfassend lassen sich drei Merkmale dieses Prozesses bestimmen. Erstens ist die Entwicklung von Märkten für ‚grüne‘ Kunststoffe durch die unterschiedlichen Unternehmen charakterisiert, die mit unterschiedlichen Motiven und Zielen versucht haben, ökologische Produktqualitäten in Kunststoffmärkten geltend zu machen. Dabei handelte es sich sowohl um Unternehmen aus der etablierten Chemieindustrie, aber auch um Unternehmen, die nach neuen Absatzmöglichkeiten für Agrarprodukte suchten, und sich mit ‚grünen‘ Kunststoffen als Herausforderer in Kunststoffmärkten positionieren wollten. Um Märkte für ‚grüne‘ Kunststoffe zu stabilisieren, kamen verschiedene Strategien zum Einsatz. Durch Normierungs- und Zertifizierungsverfahren haben Unternehmen versucht, die Glaubwürdigkeit ökologischer

Wertversprechen zu stützen. Durch die Einflussnahme auf die staatliche Regulation von Verpackungsmärkten haben sie versucht, etablierte Institutionen zu ihrem Vorteil zu verändern. Durch Praxistests haben sie versucht, Zweifel an ihrem anvisierten Transformationsprojekt auszuräumen. Durch die Entwicklung von Drop-In-Biokunststoffen haben sie versucht, mit bestehenden Institutionen und Infrastrukturen kompatibel zu sein. Durch Ökobilanzen haben sie versucht, ihr Wertversprechen auf der Grundlage wissenschaftlicher Methodik zu objektivieren. Und durch die narrative Anbindung an neue krisenhafte Zukunftsdiskurse haben sie versucht, ‚grüne‘ Kunststoffe neu zu legitimieren.

Zweitens ist der untersuchte Marktinnovationsprozess wesentlich durch die politische Regulation von Verpackungsmärkten sowie durch technische Entsorgungsinfrastrukturen bestimmt. Kunststoffe mit der neuen Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit mussten sich in einem Umfeld aus bestehenden Institutionen und Infrastrukturen der Entsorgung durchsetzen und traten dabei in Konkurrenzverhältnisse zu anderen Regulationsvisionen wie dem Recycling. Außerdem waren die Hersteller auf die Kooperation von Infrastrukturbetreibern angewiesen, um ihre Innovation in die bestehende Entsorgungswirtschaft einzubetten. Gelingt diese Einbettung nicht, wie ich exemplarisch am Beispiel Deutschland herausgearbeitet habe, ist die Stabilisierung anvisierter Märkte nicht erfolgreich.

Drittens ist der untersuchte Marktinnovationsprozess durch die intermediären Bewertungsinstanzen des organisierten Umweltschutzes bestimmt. Diese nehmen eine ständige Prüfung der ökologischen Wertversprechen ‚grüner‘ Kunststoffe vor. Gerade bei Innovationen, die mit einem kollektiven Wertversprechen vermarktet werden, kommt der öffentlichen Legitimation durch Instanzen, die außerhalb der eigentlichen Marktbeziehungen stehen, eine zentrale Stellung zu. Ich habe gezeigt, dass Widerstände im Marktschaffungsprozess für Biokunststoffe entstehen, wenn das ‚grüne‘ Wertversprechen an der öffentlichen Prüfung scheitert. ‚Grüne‘ Kunststoffe büßen dann strategischen Wert für Unternehmen ein, die ihr ökonomisches Handeln als Beitrag zum Umweltschutz darstellen wollen.

Probleme und Widerstände im Marktschaffungsprozess hatten zwar keine determinierende Kausalwirkung auf die Entstehung bzw. Ausrichtung von Innovationsstrategien. Sie hatten aber, wie ich am Beispiel von Bio-PE und Bio-PET gezeigt habe, Einfluss auf die Interpretation neuer erfolgsversprechender Innovationsstrategien. Vor allem trugen sie dazu bei, dass Unternehmen

Unterscheidungen trafen zwischen der Gegenwart des Marktes, die sich als problematisch herausgestellt hatte, und dem, was in Zukunft sein sollte. Eine zentrale Erkenntnis der Arbeit ist daher, dass Widerstände und Probleme bei der Implementation technologischer Innovationen nicht nur Hindernisse darstellen, sondern als Weichensteller und Differenzierungsmöglichkeit in Marktinnovationsprozessen fungieren. Stoßen Akteure bei der Einführung technologischer Innovationen auf Probleme, ergeben sich Sinnressourcen für die Legitimation alternativer Innovationsstrategien und damit für die Differenzierung von Produkten und Produktkategorien in entstehenden Märkten.

9. Schluss

Die vorliegende Studie hatte sich zum Ziel gesetzt, die Entwicklung von Märkten für Biokunststoffe über einen Zeitraum zwischen Ende der 1960er Jahre und heute zu rekonstruieren. Weil mit Biokunststoffen keine vollkommen neuen Märkte geschaffen, sondern bestehende Märkte verändert werden sollen, habe ich ihre Entwicklung in dieser Arbeit als Marktinnovationsprozess untersucht, d. h. als Versuch, die soziale Marktordnung etablierter Kunststoffmärkte durch die Einführung technologischer Innovation mit ökologischem Qualitätsanspruch zu verändern. Veränderung in Märkten habe ich in dieser Arbeit als doppelten Prozess konzeptualisiert und analytisch zwischen der Dynamisierung bestehender Märkte und der Stabilisierung neuer Märkte unterschieden. Veränderungsprozesse in Märkten zu untersuchen, ruft demnach einerseits die Frage auf, wie es zu einem Bruch mit dem Alten kommt und wie Neues entsteht. Die Entstehung neuer Ideen und Innovationsstrategien führt aber nicht unweigerlich zur Veränderung von Märkten. Daher stellt sich andererseits auch die Frage nach der Institutionalisierung neuer Ideen, also ihrer Übersetzung in routinisiertes Markthandeln.

Marktdynamik und der Wandel von imaginierten Zukünften

Die Untersuchung der historischen Entstehungsbedingung von Märkten für Biokunststoffe war von der Annahme geleitet, dass die Schaffung von Märkten voraussetzt, dass Objekte oder Tätigkeiten als wertvoll wahrgenommen werden. Die Werthaftigkeit von Gütern ist nicht einfach objektiv gegeben, sondern wird in kommunikativen Aushandlungsprozessen sozial konstruiert. Wandel in Märkten habe ich aus dieser Perspektive auf den Wandel von Wertzuschreibungen – der Abwertung von Bestehendem und der Aufwertung von Neuem – zurückgeführt.

Ein Ziel dieser Studie bestand darin, die aktuelle Auseinandersetzung mit der Rolle ‚imaginiertes Zukünfte‘ in der kapitalistischen Ökonomie für die Analyse von Marktinnovationsprozessen fruchtbar zu machen. Während die meisten Studien in der Wirtschaftssoziologie das Handeln ökonomischer Akteure aus der Vergangenheit oder der Gegenwart erklären, habe ich in dieser Arbeit im Anschluss an die Arbeiten von Jens Beckert die wahrnehmungs- und handlungsleitende Funktion von ‚imaginierten Zukünften‘ in der Ökonomie in den Mittelpunkt gerückt. Von dieser Perspektive ausgehend, habe ich die Abwertung von Altem und die Aufwertung von Neuem in Märkten auf den Wandel von ‚imaginierten Zukünften‘ zurückgeführt. In Frage gestellt habe ich, dass sich für die Dynamik von Zukunftsnarrativen in der Ökonomie keine systematische Erklärung

finden lässt. Im Anschluss an pragmatistische Handlungstheorien habe ich die Krise als Situation konzeptualisiert, in der unreflektierte Erwartungen an die Zukunft mit gegenwärtigen Erfahrungen in Widerspruch geraten, in der sich ein Nachdenken über die Zukunft intensiviert, in der etablierte Zukunftsnarrative brüchig werden und sich neue Erzählungen über die Zukunft etablieren können. Während Krisen auf der individuellen Handlungsebene aus Sicht pragmatistischer Theorieansätze als ‚Widerstände der Welt‘ konzeptualisiert werden, die zu einer Unterbrechung routinierter Handlungen führen, habe ich deutlich gemacht, dass Krisen auf der kollektiven Gesellschaftsebene nicht einfach objektiv gegeben sind, sondern von den Krisendiagnosen einer ‚Krisengemeinschaft‘ abhängen und sowohl in ihren Ursachen als auch im Hinblick auf Lösungsmöglichkeiten unterschiedlich gedeutet werden können.

Mein Argument war, dass mit der Diagnose einer kollektiven Krise eine bestimmte narrative Bezugnahme auf das Zukünftige einhergeht. Einerseits wird die Zukunft im Rahmen von Krisendiagnosen als Negativszenario vergegenwärtigt, das abgewendet werden muss. Während in erwartungssoziologischen Ansätzen in der Wirtschaftssoziologie und der Innovationssoziologie die Orientierung an positiven Vorstellungen von möglichen Profiten oder technologischer Leistungsfähigkeit im Mittelpunkt steht, habe ich mit dem Konzept der Krise auch das Negativszenario als wahrnehmungsleitenden Zukunftsbezug in den Fokus gerückt. Akteure können Negativzukünfte mobilisieren, wenn sie Kritik an den bestehenden Verhältnissen üben und ihre eigenen alternativen Zukunftsvisionen legitimieren wollen. Negativszenarien können zur Re-evaluation von Gütern in Märkten beitragen, wenn diese mit der Negativzukunft narrativ verbunden werden. Auf der anderen Seite öffnen Krisendiagnosen den Raum für den Entwurf von alternativen Zukünften in Form von Regulationsvisionen. Diese bieten Orientierung für die Ausrichtung technologischer Innovationsprozesse.

Ausgehend von diesen Überlegungen habe ich im ersten Teil der empirischen Untersuchung eine historische Analyse von Wertzuschreibungsprozessen vorgenommen, die den Zusammenhang zwischen Wertzuschreibung und dem Wandel von Erwartungen an die Zukunft in den Blick genommen hat. Ich habe gezeigt, dass sich die beiden charakteristischen Eigenschaften heutiger Biokunststoffe, (biologische) Abbaubarkeit und Biobasiertheit, im Kontext unterschiedlicher kollektiver Krisendiagnosen im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts zu potentiell wertvollen Produkteigenschaften von Kunststoffen entwickelt haben. Vor allem in den 1970er Jahren wurden etablierte Handlungsroutinen in der Kunststoffökonomie und geltende Annahmen über die Zukunft

in Frage gestellt. Mit zunehmender Bedeutung des ökologischen Denkens wurde die Zukunft der Kunststoffe sowohl im Hinblick auf ihre Entsorgung als auch im Hinblick auf ihre Rohstoffgrundlage problematisiert und es konnten sich alternative Ideen für ihre zukünftige Gestaltung etablieren.

In Kapitel 3 habe ich untersucht, wie sich (biologische) Abbaubarkeit zu einer potentiell wertvollen Produkteigenschaft für Kunststoffe entwickelt hat. Dazu habe ich mich auf den historischen Umbruchpunkt in der Kunststoffentwicklung konzentriert, an dem Polymerchemiker erstmals versucht haben, den natürlichen Abbau von Kunststoffen nicht zu verhindern, sondern willentlich herbeizuführen. Ich habe gezeigt, dass die Vision (biologisch) abbaubarer Kunststoffe am Übergang von den 1960er zu den 1970er Jahren entstand, als sich eine neue Krisengemeinschaft aus Wissenschaftlern, Verbrauchern und Politikern formierte, die Kunststoffe und ihre wertgebende Eigenschaft der Stabilität mit Bezug auf ein ökologisches Wertprinzip kritisierte und neue Erwartungen an Kunststoffe formulierte. Die ökologische Kritik an Kunststoffen ließ die optimistischen Zukunftserzählungen der Industrie, die Kunststoffe mit der Vorstellung von technologischem Fortschritt und wirtschaftlichem Wohlstand verknüpft hatten, an Glaubwürdigkeit verlieren. Im Gegensatz dazu wurden Kunststoffe von Umweltaktivisten wie Commoner jetzt mit der dystopischen Vorstellung einer unwiederbringlich vermüllten Umwelt in Verbindung gebracht, die mobilisiert werden konnte, um die Zukunftsfähigkeit der etablierten Kunststofftechnologie in Frage zu stellen und nach einer Reorientierung von Innovationsstrategien zu verlangen. Die Herstellung, der Konsum und die Entsorgung von industriellen Gütern sollten sich aus ökologischer Perspektive am Idealprinzip des geschlossenen Kreislaufs orientieren.

Am Beispiel der Polymerchemiker James Guillet und Gerald Scott konnte ich den Einfluss der ökologischen Kritik auf die Innovationsstrategien in der Kunststoffentwicklung deutlich machen. Ich habe gezeigt, wie Polymerchemiker die Kritik rezipierten und den ökologischen Katastrophenszenarien die technioptimistische Vision ‚abbaubarer Kunststoffe‘ entgegenstellten, mit der eine Vereinbarkeit von moderner Kunststofftechnologie und ökologischem Kreislaufprinzip behauptet wurde. Allerdings war die Idee, Kunststoffe ‚abbaubar‘ zu machen, von Beginn an umstritten. Während sich die fachfremde Öffentlichkeit davon eine Lösung für das Abfallproblem versprach, wurden in der etablierten Kunststoffindustrie schon früh Zweifel an der Realisierbarkeit, Wirtschaftlichkeit und am ökologischen Wert ‚abbaubarer Kunststoffe‘ formuliert.

In Kapitel 4 habe ich den zweiten historischen Einsatzpunkt des Innovationsprozesses der Biokunststoffe rekonstruiert. Parallel zur Frage nach den Entstehungsbedingungen der Idee ‚abbaubarer Kunststoffe‘ habe ich hier untersucht, wie sich ‚Biobasiertheit‘ zu einer wertvollen Eigenschaft für Kunststoffe entwickelt hat. Im Gegensatz zur Idee der (biologischen) Abbaubarkeit, die in einem relativ umgrenzten Problemkontext entstanden war, konnte ich zeigen, dass die Idee ‚biobasierter Kunststoffe‘ im Schnittpunkt unterschiedlicher Zukunftsdiskurse in den 1970er und 1980er Jahren reaktiviert wurde und an Bedeutung gewann. Die Diagnose von Ölpreis-, Umwelt-, und Agrarkrise hatte in unterschiedlichen gesellschaftlichen Zusammenhängen zu Auseinandersetzungen über die Zukunft der Rohstoffversorgung der chemischen Industrie geführt. Ich habe deutlich gemacht, dass biobasierten Kunststoffen von unterschiedlichen Akteuren mit je eigenen Interessen sowohl ökonomischer als auch ökologischer Wert zugeschrieben wurde, der in Vorstellungen über mögliche Profitancen einerseits und einer ökologischen Verbesserung konventioneller Kunststofftechnologie andererseits gründete.

In der Chemie- und Kunststoffindustrie war mit dem Einsetzen von Versorgungsengpässen und der Diagnose einer Energiekrise in den 1970er Jahren das ressourcenoptimistische Narrativ der Nachkriegszeit brüchig geworden und es entstand eine Auseinandersetzung über die zukünftige Rohstoffgrundlage industrieller Prozesse. In dieser Auseinandersetzung konnten Wissenschaftler und landwirtschaftliche Interessenvertreter in den USA die chemurgische Vision einer biobasierten Chemieindustrie reaktivieren, die bereits in den 1930er und 1940er Jahren die Entwicklung von biobasierten Kunststoffen angetrieben hatte. Den etablierten Chemie- und Kunststoffherstellern erschien in den 1970er Jahren ein Wechsel von fossilen zu biobasierten Rohstoffen zwar wenig dringlich. Angesichts der hohen Ölpreisprognosen und mit Blick auf eine langfristige Zukunft gewannen Investition in biobasierte Herstellungsprozesse aber an Legitimität.

Neben den ökonomischen Erwartungen der Industrie entstanden in den 1970er Jahren auch ökologische Erwartungen an die Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Vor dem Hintergrund der Vorstellung endlicher Ressourcen wurde die Nutzung von Erdöl zur Kunststoffherstellung abgewertet, während die Nutzung nachwachsender Rohstoffe aufgewertet wurde. Die Abwertung fossiler Rohstoffe zur Kunststoffherstellung habe ich an der Ausweitung der ökologischen Kritik an Kunststoffen in den 1970er Jahren deutlich gemacht. Im Kontext der ‚Energiekrise‘ wurden Kunststoffe nicht mehr nur als Problem der Umweltverschmutzung kritisiert, sondern auch als Verschwendung begrenzter Ressourcen. Die Nutzung fossiler Rohstoffe für die Herstellung von

Wegwerfprodukten aus Kunststoffen verlor in einer für die Begrenzung fossiler Ressourcen sensibilisierten Öffentlichkeit an Legitimität. In dieser Kritik liegt eine Möglichkeitsbedingung für die Qualifizierung biobasierter Kunststoffe als ökologische Verbesserung, lange bevor das Erdöl tatsächlich ausgehen wird. Auf der anderen Seite wurden mit der Verwendung nachwachsender Rohstoffe positive ökologische Zukunftsentwürfe verknüpft. Zwar wurde von Seiten des Umweltschutzes immer auch Kritik am Anbau und der industriellen Nutzung nachwachsender Rohstoffe geübt, die Umstellung der Rohstoffgrundlage weckte bei einigen Vertretern des Umweltschutzes aber auch die Hoffnung auf eine umweltfreundlichere Gestaltung industrieller Prozesse.

Am Beispiel der Europäischen Kommission und ihres ersten technologischen Foresight-Programms, FAST, habe ich gezeigt, dass die Wachstums-, Rohstoff- und Umweltkrise der 1970er Jahre auch in der Politik zu einer gesteigerten Auseinandersetzung mit der Zukunft führte. Mit FAST sollten neue Wege für die europäische Technologiepolitik gefunden werden, wobei mit der Vision der europäischen ‚Biogesellschaft‘ die Biotechnologie und damit pflanzliche Rohstoffe in den Fokus der Aufmerksamkeit rückten. Die Biotechnologie sollte neues Wachstum generieren und die internationale Wettbewerbsfähigkeit Europas erhalten. Gleichzeitig waren europäische Regierungen mit wachsenden Agrarüberschüssen konfrontiert, sodass die Politik nach neuen Absatzmärkten für landwirtschaftliche Produkte suchte. An die Entwicklung von Kunststoffen aus Pflanzen hefteten sich in den 1980er Jahren daher auch politische Hoffnungen auf eine stärkere Integration zwischen Chemieindustrie und Landwirtschaft.

Kapitel 5 hat gezeigt, wie sich die neuen Erwartungen an pflanzliche Rohstoffe auf die Bewertung des Marktpotentials von Polymeren auswirkten, die bereits wissenschaftlich beschrieben, synthetisiert und z. T. sogar patentiert waren, im Grunde aber als ökonomisch wertlose Substanzen galten. Dazu habe ich die Geschichte der Polymere PHB und PLA in Form von Objektbiographien rekonstruiert und den Fokus auf Umbruchpunkte gelegt, an denen Wissenschaftler das Marktpotential der Stoffe neu bewerteten. Die Analyse hat gezeigt, dass sich die Einschätzung des kommerziellen Potentials beider Polymere im Kontext der neuen Zukunftserzählungen – steigende Ölpreise, das Versprechen der Biotechnologie, die Hoffnung auf neue Märkte für die Landwirtschaft – grundlegend veränderte. So entwickelte sich PHB zwischen den 1950er und 1980er Jahren von einem mikrobiellen Energiespeicher über einen thermoplastischen Kunststoff ohne Marktpotential zu einem vielversprechenden biotechnologischen Innovationsobjekt. Ähnlich

entwickelte sich auch PLA von einer minderwertigen Substanz, über einen teuren medizinischen Kunststoff, zu einem potentiellen Massenkunststoff mit ökologischem Qualitätsanspruch, der Ende der 1980er Jahre in die Aufmerksamkeit von Agrarunternehmen rückte, die sich als Herausforderer im Kunststoffmarkt positionieren wollten.

Die Objektbiographien beider Polymere haben deutlich gemacht, dass die physischen Eigenschaften der Polymere nicht an sich wertvoll sind, sondern ihre Werthaftigkeit im Kontext sich verändernder Erwartungen an die Zukunft gewannen. Am Beispiel von PLA und den beiden Forschern Lipinsky und Sinclair habe ich gezeigt, dass Wissenschaftler prospektive Geschichten um konkrete Polymere entwarfen, in denen sie jene gesellschaftlich zirkulierenden Narrative um Ressourcenknappheit und Umweltverschmutzung aufgriffen, die den Diskurs um Kunststoffe seit den 1970er Jahren prägten. Deutlich wurde auch, dass sich die zentralen Figuren im industriellen ‚Entdeckungsprozess‘ der beiden Polymere am Schnittpunkt unterschiedlicher Disziplinen bzw. Industrien befanden, und Wissen von einem Bereich in den anderen übertragen konnten. Vor allem im Falle von PHB waren es Biochemiker, die ihr Wissen um den Stoff und seine Herstellung aus dem akademischen Umfeld der Biochemie in die Kunststoffindustrie einbrachten. Zu Innovationsobjekten wurden beide Polymere aber nur dort, wo die Erwartungen an das ökonomische und ökologische Potential der Stoffe auf materielle Vorbedingungen stieß.

Mit der historischen Rekonstruktion von (biologischer) Abbaubarkeit und Biobasiertheit als ökologisch markierten Innovationszielen war es möglich, den Marktinnovationsprozess der Biokunststoffe nicht nur als aktives Handeln von Unternehmern zu untersuchen, sondern auch nach seinen historisch-kulturellen Möglichkeitsbedingungen zu fragen. Zwar stehen hinter der Innovation der Biokunststoffe auf der Seite von Produzenten und Politik ökonomische Erwartungen an die Verfügbarkeit günstiger Rohstoffe und die Ausweitung von Märkten für landwirtschaftliche Produkte, die sich sogar bis ins frühe 20. Jahrhundert zurückverfolgen lassen. Ihren ökologischen Wert gewannen sie jedoch erst vor dem Hintergrund eines gesellschaftlichen Erwartungshorizonts, in dem die Zukunft als ökologische Bedrohung vergegenwärtigt wurde. Die 1970er Jahre sind vor allem deshalb eine formative Phase für die Entstehung von Märkten für Biokunststoffe, weil mit der zunehmenden Bedeutung des Umweltschutzes der Gebrauchswert von Kunststoffen als leichtes und flexibles Verpackungsmaterial mit ihrem ökologischen Wert in Konflikt geriet. Wie ich am Beispiel der Publikationen von Barry Commoner gezeigt habe, sollten Güter nun im Hinblick auf ihre langfristige Auswirkung auf die Umwelt bewertet werden. Die

damit einhergehende Abwertung von konventionellen Kunststoffen als fehlgeleitete und bedrohliche Technologie bildet die Möglichkeitsbedingung für jene ökologischen Qualifizierungsstrategien, die auch für heutige Biokunststoffe charakteristisch sind. Ihr ökologisches Wertversprechen gewannen beide Produkteigenschaften aus Erzählungen darüber, welchen Beitrag sie zur Lösung kollektiver Problemlagen leisten könnten.

Während die vorliegende Einzelfallstudie notwendigerweise die Erwartungsbildung für bestimmte Produkteigenschaften in einem konkreten historischen Kontext rekonstruiert hat, lassen sich im Anschluss an diese Arbeit weiterführende Überlegungen zur Entstehung und zum Wandel von Erwartungen anstellen: *Erstens* könnte es gewinnbringend sein, bei der Frage nach dem Wandel von ‚imaginierten Zukünften‘ in der Ökonomie stärker zwischen unterschiedlichen Marktformen zu unterscheiden. Unterschieden werden könnten Märkte, in denen Güter gehandelt werden, denen primär ‚imaginativer Wert‘ (Beckert 2011) zugeschrieben wird, d. h. Wert, der allein in der intersubjektiven Wahrnehmung symbolischer Qualitäten bzw. der Vorstellungen von zukünftigen Profiten gründet, von solchen Märkten, in denen Güter gehandelt werden, deren Wert auch durch physische Eigenschaften bestimmt ist. Als Materialien gehören Kunststoffe zweifelsohne zur letzteren Kategorie. Wie die Fallstudie gezeigt hat, trugen hier krisenhafte Erfahrungen mit der Materialität der Stoffe – das Auffinden von Müll in der freien Natur, die Verknappung von Deponieraum, die tatsächliche Rohstoffknappheit im Kontext der Energiekrise – dazu bei, dass sich die mit Kunststoffen verbundenen Zukunftsnarrative veränderten und dass neue technologische Visionen entstanden. Für ähnliche Fälle, in denen ebenfalls die physischen Eigenschaften der Produkte eine Rolle spielen, ist es meines Erachtens daher produktiv, den Wandel von Erwartungen nicht allein auf der Ebene des Diskurses zu untersuchen, sondern das Zusammenspiel von Erfahrungen und deren Diskursivierung in den Blick zu nehmen.

In Märkten, in denen primär ‚imaginative Werte‘ gehandelt werden, genügt möglicherweise eine diskursive Intervention, um Erwartungen zu verändern. Idealtypisch für diese Form von Märkten wären Kunst- oder Modemärkte, in denen Güter gehandelt werden, deren Wert durch die Imaginationen der Konsumenten bestimmt ist, aber auch Finanzmärkte, in denen Erwartungen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklungen von Börsenkursen gehandelt werden. Am Beispiel des „Erwartungsmanagements“ von Zentralbanken, die durch diskursive Praktiken versuchen, Zuversicht und Vertrauen in den Markt zu erzeugen, lässt sich dieser Gedanke veranschaulichen (Braun 2015; Holmes 2013). So zeigt etwa der Fall des EZB-Präsidenten Mario Draghi, der auf

dem Höhepunkt der Eurokrise ankündigte, dass die EZB den Euro um jeden Preis retten würde, dass diskursive Interventionen allein eine Veränderung der Erwartungen und in der Konsequenz eine Veränderung des Verhaltens von Marktakteuren provozieren können. Zwar hatte sich an der tatsächlichen Situation in den europäischen Krisenländern nichts verändert, allein Draghis Aussage führte jedoch dazu, dass sich die Kurse für spanische und italienische Staatsanleihen erholten (Chang und Leblond 2015). Es ist anzunehmen, dass in solchen Märkten vor allem die Statusposition der Erwartungsproduzenten dazu beiträgt, ob und wie sich imaginierte Zukünfte verändern.

Zweitens weist die vorliegende Einzelfallstudie auf mögliche Anknüpfungspunkte zwischen der Wirtschaftssoziologie und der geschichtswissenschaftlichen Forschung zum Zeitverständnis moderner Gesellschaften hin. Während Beckert die u. a. von Reinhart Koselleck formulierte These eines spezifisch modernen, fortschrittsorientierten Zukunftsbezugs bereits für die Frage nach der Entstehung des Kapitalismus fruchtbar gemacht hat (Beckert 2016: 28ff.), weist die vorliegende Studie auf eine Pluralisierung des Zukunftsbezugs im 20. Jahrhundert hin. Diese These wird auch in der aktuellen zeitgeschichtlichen Forschung diskutiert (Esposito 2017; Graf und Herzog 2016). So deutet die ökologische Kritik an Kunststoffen darauf hin, dass mit dem Aufstieg und der Institutionalisierung des ökologischen Denkens seit den 1970er Jahren auch ein historisch spezifischer Zeitbezug einhergeht, der die Zukunft nicht mehr als grenzenlosen Möglichkeitsraum, sondern als Bedrohung und ökologisches Risiko vergegenwärtigt und damit ein Bild der Zukunft entwirft, das durch Handeln in der Gegenwart abgewendet werden soll. Die ökologische Kritik an Kunststoffen ist ein anschauliches Beispiel dafür, wie in den 1970er Jahren die „zivilisatorischen Folgelasten des ökonomischen Fortschritts“ (Hölscher 2016: 302) ins Bewusstsein der Menschen rückten, und damit auch ein Beispiel für den Bruch mit den technikoptimistischen Erwartungen der modernen Gesellschaft.

Anhand der Publikationen der beiden Polymerforscher Guillet und Scott habe ich allerdings gezeigt, dass sich die Neukonfiguration des gesellschaftlichen Zukunftsbezugs seit den 1970er Jahren nicht als ein Ablösungsprozess von Fortschrittsoptimismus hin zu Fortschrittskritik darstellt. Die Vision der (biologischen) Abbaubarkeit wurde im selben Fortschrittsnarrativ formuliert, das schon für die Kunststoffentwicklung im frühen 20. Jahrhundert charakteristisch war. Die Polymerforscher behaupteten ja gerade, dass mit der Entwicklung ‚abbaubarer Kunststoffe‘ eine dezidiert technologische Lösung für ökologische Probleme gefunden werden

könnte. Demnach hat nicht eine Form des Zukunftsbezugs eine neue verdrängt; das Fortschrittsdenken ist nicht mit der Diagnose der Umweltkrise in den 1970er Jahren zu einem Ende gekommen, sondern wurde ökologisch umcodiert (Graf 2016; Seefried 2015).

Die makrohistorische These einer Pluralisierung von Zukunftsbezügen ließe sich für die soziologische Untersuchung von Innovationsprozessen weiter produktiv machen, in dem man etwa danach fragt, wie unterschiedliche Trägergruppen mit fortschrittsoptimistischen und fortschrittskritischen Zukunftsvorstellungen die Dynamik eines Innovationsprozesses beeinflussen. Meine Arbeit hat deutlich gemacht, dass sich die Vorstellung der negativen ökologischen Folgelasten des industriellen Wachstums in Form von Umweltschutzorganisationen, staatlichen Behörden für Technikfolgenabschätzung und Messinstrumenten wie Ökobilanzen institutionalisiert hat, die Innovationen auf ihr potentiell ökologisches Risiko hin überprüfen. Innovationsprozesse sind in diesem Fall von einem Spannungsverhältnis zwischen dem Versprechen ökologischen Fortschritts durch Technik und der Infragestellung und Prüfung dieses Versprechens geprägt.

Stabilisierung neuer Märkte

Während sich der erste Teil der empirischen Untersuchung mit der Abwertung konventioneller Kunststoffe und der Entstehung bzw. Reaktivierung alternativer Kunststoffvisionen befasst hat, habe ich im zweiten Teil der Studie den Blick auf die Marktentwicklung ‚grüner‘ Kunststoffe gerichtet. Mein Argument war, dass neue Ideen wie (biologische) Abbaubarkeit und Biobasiertheit zwar einerseits als abstrakte Visionen existieren, die handlungsleitend für den technologischen Innovationsprozess neuer Polymere sind. Andererseits werden diese abstrakten Visionen im Lauf der Zeit immer wieder in konkrete Produkte realisiert, mit denen Unternehmen versuchen, etablierte Kunststoffmärkte zu verändern. Im Anschluss an Arbeiten aus der Innovationssoziologie habe ich argumentiert, dass die Stabilisierung neuer Märkte die soziale Einbettung von technologischen Innovationen involviert. Marktschaffungsprozesse bestehen demnach meistens nicht nur aus dem Aufbau neuer Marktbeziehungen zwischen Anbietern und Nachfragern; Innovationen müssen auch regulatorisch zugelassen, mit bestehenden technischen Infrastrukturen kompatibel gemacht und von der ‚weiteren Gesellschaft‘ legitimiert werden. Das gilt vor allem dann, wenn sie mit kollektiven Wertversprechen vermarktet werden. Im Anschluss an pragmatistische Ansätze habe ich die Legitimierung bzw. Delegitimierung von Innovationen als ‚Prüfung‘ beschrieben, in der die Angemessenheit ihrer Wertversprechen beurteilt wird. Während

sich die Entwicklung von Märkten in klassischen Ansätzen der Wirtschaftssoziologie, etwa bei White oder Fligstein, zwischen den Produzenten abspielt, habe ich mit der Frage nach der Legitimierung von Innovationen den Einfluss von Marktintermediären auf die Konstruktion von Märkten in den Fokus gerückt. Diese nehmen, wie auch jüngere marktsoziologische Arbeiten gezeigt haben, eine zentrale Rolle bei der Bewertung der Glaubwürdigkeit unsicherer Wertversprechen ein (Arnold und Hasse 2016; Nessel 2016).

Ausgehend von diesen Überlegungen habe ich im zweiten Teil der Studie untersucht, wie Unternehmen versucht haben, Märkte für ‚grüne‘ Kunststoffe aufzubauen und zu stabilisieren und wie andere relevante Akteure – die etablierte Kunststoffindustrie, staatliche Behörden, Umweltschutzorganisationen oder die Entsorgungswirtschaft – auf diese Versuche reagiert haben. Die Marktentwicklung zwischen den 1980er Jahren und heute habe ich in drei zeitliche Sequenzen unterteilt, in denen jeweils neue Polymere als umweltfreundliche Alternative zu konventionellen Kunststoffen in Stellung gebracht wurden. In diesem Prozess haben sich fortlaufend neue Möglichkeiten für Unternehmen ergeben, neu zu definieren, was ein ‚grüner‘ Kunststoff ist, und somit Möglichkeiten, den Marktinnovationsprozess an sich weiterzuführen und ihn andererseits in neue Richtungen zu lenken.

In Kapitel 6 habe ich mich mit dem ersten Versuch, einen Markt für ‚grüne‘ Kunststoffe aufzubauen, befasst. Basierend auf einer Reihe von Gesetzgebungsverfahren und den Marketinginteressen kleinerer Kunststoffanwender war es einer Handvoll Unternehmen aus der Chemie- und Agrarindustrie zwischen Mitte der 1980er Jahre und Anfang der 1990er Jahre erstmals gelungen, mit ‚abbaubaren Kunststoffen‘ Marktanteile in etablierten Kunststoffmärkten für Tüten und Abfallbeutel zu erobern. Dabei existierten zu diesem Zeitpunkt keine wissenschaftliche Definition, kein Prüfverfahren und keine unabhängige Zertifizierung für die ‚Abbaubarkeit‘ von Kunststoffen. Bei ‚Abbaubarkeit‘ handelte es sich um einen wissenschaftlich unbegründeten Marketingclaim, den Unternehmen nutzten, um ihre Produkte in Kunststoffmärkten als umweltfreundlich zu positionieren. Die Prüfung ihres ökologischen Wertversprechens durch staatliche Behörden und Umweltschutzorganisationen kam zu dem Ergebnis, dass die zu diesem Zeitpunkt kommerziell erhältlichen Stoffe ihren eigenen Anspruch der biologischen Abbaubarkeit nicht erfüllten, sondern lediglich in kleinere Teile zerfielen und daher weder eine Lösung für die sich ankündigende Deponiekrise noch für das Problem des *Litters* darstellten.

Dennoch blieb die Idee biologischer Abbaubarkeit als abstrakte technologische Vision weiterhin wirksam für die Ausrichtung des Marktinnovationsprozesses. Ich konnte zeigen, dass eine Reihe von Unternehmen und Forschungsinstituten, die Ende der 1980er Jahre an der Entwicklung von biologisch abbaubaren Kunststoffen aus (überwiegend) pflanzlichen Rohstoffen arbeiteten, ihre eigenen Innovationsprojekte von den gescheiterten Stoffen der ‚ersten Generation‘ abgrenzten und Stoffe wie PHBV, PLA oder Stärkeblends als Einlösung der Vision biologischer Abbaubarkeit auswiesen. Damit erneuerten sie die Vision, bezogen sie aber auf andere molekulare Verbindungen. Außerdem gruppieren Unternehmen, Fachpresse und Marktanalysten diese Stoffe nun als eine neue Kategorie ‚tatsächlich abbaubarer‘ oder ‚selbstabbaubarer‘ Kunststoffe, die abermals mit dem Versprechen einer ökologischen Verbesserung konventioneller Kunststoffe versehen wurde. In den 1990er Jahren erwarteten Hersteller einen Durchbruch für diese neue Produktkategorie in Deutschland.

In Kapitel 7 bin ich den Erwartungen der Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe nach Deutschland gefolgt. Ich habe rekonstruiert, wie Unternehmen versucht haben, eine neue Kreislaufwirtschaft für kompostierbare Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen aufzubauen. Ich habe gezeigt, wie die Hersteller – anders als in den 1980er Jahren – dieses Mal gemeinsam an der Stabilisierung des anvisierten Marktes gearbeitet haben. Dabei ließen sich unterschiedliche Stabilisierungsstrategien feststellen: *Erstens* versuchten die Hersteller durch die Entwicklung technischer Normen für Kompostierbarkeit eigene Institutionen zu schaffen, die die Glaubwürdigkeit ihrer Wertversprechen stützen sollten. Mit der Objektivierung des Wertversprechens der Kompostierbarkeit durch Normierung versuchten die Hersteller, Einfluss auf die Prüfung durch das Marktumfeld zu nehmen. Außerdem sollte dadurch die Einbettung in die technische Infrastruktur der Kompostwirtschaft möglich werden. *Zweitens* versuchten die Hersteller, die bestehende institutionelle Einbettung von Kunststoff- und Kompostmärkten zu ihren Gunsten zu verändern, etwa durch die Schaffung einer Sonderregelung in der Verpackungsverordnung oder durch eine Änderung der Bioabfallverordnung. Und *drittens* versuchten sie im *Modellprojekt Kassel* im Kleinen zu beweisen, was im Großen imaginiert wurde, und so Zweifel an der Realisierbarkeit ihrer Vision auszuräumen.

Der Fokus des Kapitels lag aber auf der Frage, warum auch dieser Marktschaffungsversuch, gemessen an den großen Erwartungen in den 1990er Jahren, kaum erfolgreich war. Während für diese Frage sicherlich unterschiedliche Antworten gefunden werden können, habe ich hier drei

Konfliktkonstellationen in den Fokus gerückt, die auf je eigene Art und Weise dazu beigetragen haben, dass der anvisierte Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe in Deutschland nur teilweise und auf einem geringen Niveau stabilisiert werden konnte. So traten die Hersteller mit ihrer Vision kompostierbarer Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen *erstens* in Konkurrenz zum politisch favorisierten und institutionalisierten Entsorgungssystem des werkstofflichen Kunststoffrecyclings. Aufgrund ihrer physischen Eigenschaften wurden biologisch abbaubare Kunststoffe in der technischen Infrastruktur des Kunststoffrecyclings als Störstoffe definiert und als Bedrohung für die Effektivität der Recyclingprozesse abgewehrt. *Zweitens* scheiterte auch die Mobilisierung der Kompostwirtschaft als notwendigem Kooperationspartner für die Realisierung der anvisierten Kreislaufwirtschaft. Zwar konnten die Hersteller einzelne Kommunen und Kompostanlagenbetreiber vom Produkt des kompostierbaren Bioabfallbeutels überzeugen. Kompostierbare Verpackungen wurden jedoch auf Bestreben der Kompostwirtschaft und der Länder 2012 explizit aus der Bioabfallverordnung ausgeschlossen, sodass sich das Wertversprechen der Kompostierbarkeit für den Großteil der anvisierten Produkte nicht mehr realisieren ließ. Ähnlich wie in der Recyclingwirtschaft wurden Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen auch in der Kompostwirtschaft größtenteils als Störelemente wahrgenommen, die den Kompostprozess möglicherweise nachteilig, in jeden Fall aber nicht positiv beeinflussen würden. Die notwendige Einbettung der Stoffe in die deutsche Entsorgungswirtschaft stieß also sowohl bei den Recyclern als auch bei den Kompostierern auf Widerstände.

Zudem habe ich gezeigt, dass erneut das ökologische Wertversprechen der Stoffe einer Prüfung durch den organisierten Umweltschutz nicht standhielt. Umweltbundesamt, Umweltschutzorganisationen und Umweltforschungsinstitute standen biologisch abbaubaren Kunststoffen aus Pflanzen von Beginn an skeptisch gegenüber, da sie für Produktions- und Konsumsysteme standen, die aus Sicht der Umweltschützer abgeschafft werden sollten. Anstelle einer Substitution von konventionellen durch biologisch abbaubare Kunststoffe zur Herstellung von Einwegverpackungen arbeiteten Umweltschützer auf eine Abfallvermeidung und die Einführung von Mehrwegsystemen hin. Anstatt die Intensivlandwirtschaft für die Herstellung von Verpackungen politisch zu fördern, sollte diese abgebaut und durch eine ökologische Landwirtschaft ersetzt werden. Und die gentechnische Veränderung von Pflanzen und Bakterien, die bei der Herstellung von PHBV oder PLA zum Einsatz kam, wurde ebenfalls kritisch gesehen.

Umweltschützer verfolgten also im Grunde ebenfalls konkurrierende Transformationsprojekte, die eine gänzlich andere Zukunft entwarfen.

Auch die ökologische Wertigkeit der Kompostierung von Verpackungen wurde von Abfallexperten grundlegend angezweifelt. So kamen Expertenkommissionen zu dem Urteil, dass die von den Herstellern als umweltfreundliche Entsorgungsoption propagierte Kompostierung im Hinblick auf den Energieverbrauch nicht die umweltfreundlichste Methode darstellte. Mit der zunehmenden Bedeutung von Ökobilanzen als Prüfungsinstrumente für die ökologische Wertigkeit von Gütern wurden Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen mit einer Reihe von umweltrelevanten Kategorien in Bezug gesetzt. Dabei konnte eine generelle ökologische Überlegenheit der Stoffe im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen nicht festgestellt werden. Dies machte die Positionierung der Stoffe als ‚grüne‘ Innovation zu einer prekären Angelegenheit, die von kritischen Umweltschutzorganisationen leicht als *Greenwashing* angegriffen werden konnte. Öffentlichkeitswirksame Anprangerungen von Unternehmen durch Umweltschutzorganisationen führten dazu, dass die Stoffe an Marketingwert für Kunststoffanwender einbüßten. Alle drei Konfliktkonstellationen – die Konkurrenz zum Recycling, der Widerstand der Kompostierer und die fehlende Legitimation durch den Umweltschutz – trugen dazu bei, dass sich in Deutschland ein Markt für biologisch abbaubare Kunststoffe nur auf geringem Niveau etablieren konnte.

Kapitel 8 hat sich mit der dritten Sequenz im Marktinnovationsprozess seit Anfang der 2000er Jahre bis heute befasst. Hier habe ich gezeigt, dass die Produkteigenschaft der biologischen Abbaubarkeit zur Qualifizierung ‚grüner‘ Kunststoffe an Bedeutung verlor, während die Biobasiertheit zum wichtigsten Abgrenzungsmerkmal gegenüber konventionellen Kunststoffen aufstieg. Angesichts der Probleme bei der Marktschaffung für biologisch abbaubare Kunststoffe setzte in der entstehenden Branche eine Auseinandersetzung darüber ein, in welche Richtung sich ‚grüne‘ Kunststoffe in Zukunft entwickeln würden. Die Kategorie der biologisch abbaubaren Kunststoffe verlor ihre zentrale Stellung und es etablierte sich der heutige Begriff Biokunststoffe, der als übergeordnete Kategorie sowohl die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit als auch der Biobasiertheit umfasst. Auf der Ebene der Anwendungen sollten biologisch abbaubare Kunststoffe zunehmend in langlebigen Produkten eingesetzt werden, für die die Entsorgungsqualität der Kompostierbarkeit keine zentrale Rolle mehr spielte. Und auf der Ebene

des technologischen Designs begannen Unternehmen biobasierte Kunststoffe zu entwickeln, deren chemische Struktur einen biologischen Abbau gar nicht erst erlaubt.

Dabei konnten sich Unternehmen bei der Interpretation erfolgsversprechender Innovationsstrategien auf die Probleme bei der Marktentwicklung für biologisch abbaubare Kunststoffe beziehen. Um ihre eigenen Innovationen wie Bio-PET oder Bio-PE von älteren Biokunststoffen wie PLA oder Stärkeblends abzugrenzen, konnten sie auf deren problematische Einbettung in die etablierten Kunststoffrecyclingströme verweisen und so eine neue Richtung für den Marktinnovationsprozess vorgeben. Die Entwicklung von Drop-In-Kunststoffen markiert auch eine neue Stabilisierungsstrategie im Marktinnovationsprozess. Während die Hersteller biologisch abbaubarer Kunststoffe in den 1990er Jahren versucht hatten, ein eigenes Entsorgungssystem mittels Kompostierung aufzubauen und die institutionelle Einbettung von Kunststoffmärkten zu ihren Gunsten zu verändern, passten sich die Hersteller biobasiert-stabiler Kunststoffe den etablierten Institutionen und Infrastrukturen der Entsorgungswirtschaft an. Mit der Einführung der neuen Stoffe seit Anfang der 2010er Jahre kam es zu einer Ausdifferenzierung von Märkten für Biokunststoffe. Abgesehen von den politisch gestützten Märkten für kompostierbare Plastiktüten spielt die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit vor allem in Nischenanwendungen eine Rolle, während biobasiert-stabile Kunststoffe zur Herstellung klassischer Kunststoffprodukte wie Plastikflaschen verwendet werden.

Die Rekonstruktion der Marktentwicklung ‚grüner‘ Kunststoffe im zweiten Teil der Arbeit hat gezeigt, dass sich die heutige Produktkategorie der Biokunststoffe in einem langfristigen Prozess herausgebildet hat, in dem unterschiedliche Unternehmen mit unterschiedlichen Technologien immer wieder versucht haben, ‚grüne‘ Produktqualitäten in Kunststoffmärkten geltend zu machen und dabei auf Widerstände gestoßen sind. Die Probleme bei der Einbettung in etablierte Entsorgungssysteme und die Delegitimation des ökologischen Wertversprechens durch den organisierten Umweltschutz führten dabei nicht etwa dazu, dass der Marktinnovationsprozess beendet wurde. Vielmehr entwarfen Unternehmen, trotz der Probleme und Widerstände, immer wieder neue Zukünfte für ‚grüne‘ Kunststoffe. Die Untersuchung hat also deutlich gemacht, dass sich Widerstände seitens des Marktumfelds nicht allein verhindernd auf Marktinnovationsprozesse auswirken. Vielmehr habe ich gezeigt, dass Widerstände auch als eine Art Weichensteller im Marktinnovationsprozess fungieren und Abgrenzungsfolien für den Entwurf alternativer Zukünfte bieten. Zwar hatten Kontroversen, Implementationsprobleme und Anprangerungen durch den

organisierten Umweltschutz keine direkte Kausalwirkung auf die Ausrichtung von Innovationsstrategien in der entstehenden Branche. Dennoch konnten sich Unternehmen bei der Interpretation erfolgsversprechender Innovationsstrategien auf die Kritik an bereits verfügbaren Polymeren beziehen. Zudem dienen Widerstände als Legitimationsressourcen, um neue Innovationsstrategien abzugrenzen und als zukunftsweisend zu positionieren. Die Unterteilung aufeinanderfolgender Technologiegenerationen stellte zum Beispiel einen Versuch dar, die Gegenwart von der Zukunft ‚grüner‘ Kunststoffe zu unterscheiden und dadurch Fortschritt zu behaupten.

Während sich die Entwicklung von Märkten für ‚grüne‘ Kunststoffe als dynamischer und prekärer Prozess erwiesen hat, der bis heute – zumindest gemessen an den Erwartungen – kaum erfolgreich war, stellt die Behauptung einer Vereinbarkeit von Kunststofftechnologie und Umweltfreundlichkeit an sich eine bemerkenswert stabile Konstante seit den 1970er Jahren dar. Trotz Widerständen bei der Implementation konkreter Technologien ist die Idee ‚grüner‘ Kunststoffe als abstrakte Vision über die Jahrzehnte erhalten geblieben. Eine Erklärung für diese Beständigkeit liegt in der hohen gesellschaftlichen Bedeutung der ‚grünen‘ Wertigkeitsordnung, auf die Unternehmen zurückgreifen können, um ihre Produkte in Kunststoffmärkten zu positionieren. So ist zu erklären, warum Unternehmen trotz Realisierungsproblemen kontinuierlich versucht haben, ökologische Produktqualitäten in Kunststoffmärkten geltend zu machen und in ökonomischen Profit zu verwandeln. Die mit den konkreten Polymeren verbundenen Wertversprechen schlossen also immer wieder an die kulturell legitimierte und institutionalisierte ‚grüne‘ Wertigkeitsordnung an, die ich im ersten Teil der Arbeit beschrieben habe.

Veränderung in Märkten als doppelten Prozess von Dynamisierung und Stabilisierungsversuchen zu untersuchen, hat sich in dieser Arbeit als produktiv erwiesen und bietet Anknüpfungspunkte für die Untersuchung anderer Marktinnovationsprozesse. Anders als Ansätze, die sich allein auf die destabilisierenden, dynamisierenden Faktoren marktlicher Veränderung konzentrieren, und anders als Ansätze, die Marktinnovation vor allem als Stabilisierungsprozess konzeptualisieren, habe ich in dieser Studie versucht, beide Perspektiven miteinander zu verbinden. Dadurch lassen sich Marktinnovationsprozesse sowohl in ihren Entstehungsbedingungen als auch in ihrer fortschreitenden Institutionalisierung in den Blick nehmen und damit umfassend verstehen. Abgesehen von diesem Grundargument handelt es sich bei jedem Marktinnovationsprozess um eine singuläre und historisch situierte Entwicklung, sodass es schwierig ist, aus dem Fall der

Biokunststoffe generalisierbare Aussagen abzuleiten. Dennoch ergeben sich aus der vorliegenden Studie Erkenntnisse, die anschlussfähig für andere Untersuchungen sind.

Erstens deutet der Fall auf die Bedeutung kulturellen Wandels für Veränderungsprozesse in Märkten hin. Ohne den Blick auf die Etablierung einer ‚grünen‘ Wertigkeitsordnung ist die Entwicklung von Märkten für Biokunststoffe meines Erachtens nicht zu verstehen. Dabei habe ich versucht zu zeigen, dass sich kultureller Wandel nicht nur auf die Bildung neuer Erwartungen an die Zukunft, sondern in der Form von Marktintermediären auch auf die Gestalt des Marktumfelds auswirkt, in dem Innovationen auf ihre Wertigkeit hin überprüft werden. *Zweitens* hat die Untersuchung aber auch gezeigt, dass die Entwicklung von Märkten für Biokunststoffe nicht nur auf ökologischen Erwartungen an eine umweltfreundlichere Kunststoffökonomie gründet, sondern in einem komplexen Gewebe von unterschiedlichen Interessen und Erwartungen verankert ist. Für folgende Studien lenkt der Fall somit den Blick auf die Multidimensionalität von Marktinnovationsprozessen. Veränderungen in Märkten können demnach unterschiedliche Ursprünge haben, entlang verschiedener Entwicklungspfade verlaufen und durch eine heterogene Interessen- und Erwartungslage bestimmt sein. Die vorliegende Untersuchung ist damit auch als Plädoyer zu verstehen, die Komplexität von Marktinnovationsprozessen in der soziologischen Analyse abzubilden. *Drittens* habe ich gezeigt, dass sich die Entwicklung von Märkten für Biokunststoffe nicht als reine Erfolgsgeschichte erzählen lässt. Damit rückt der Fall die Prekarität von Marktinnovationsprozessen in den Fokus. Widerstände im Marktinnovationsprozess ergeben sich aus der Konkurrenz unterschiedlicher Transformationsprojekte und aus dem Spannungsverhältnis zwischen Innovationen und den bestehenden Institutionen und Infrastrukturen. Wie die Untersuchung gezeigt hat, führen Widerstände nicht unbedingt zum Scheitern von Marktinnovationsprozessen, sondern können als Weichensteller in ihrer Entwicklung fungieren. Der Fokus auf solche Widerstände, Realisierungsprobleme, Kontroversen und gescheiterte Prüfungen in der soziologischen Analyse erweist sich somit als produktiv für das soziologische Verständnis von Dynamik in entstehenden Märkten.

Anhang: Magazine

Industriemagazine, Umweltmagazine, Magazine der Entsorgungsbranche

Magazin	Zeitraum	Suchbegriff
Chemical Week	1975-2017	biodegradable plastics or biodegradable plastics or degradable plastics or bioplastics or biobased plastics or bio-based plastics + biopolymer or bio-polymer
Bioplastic Magazine	2006-2017	ganze Ausgaben
Modern Plastics International	1973-1993	händisch durchsucht
Kunststoffe	1991-2017	vor 1999 händisch durchsucht ab 1999 per Stichwortsuche: Biokunststoff oder biobasiert oder abbaubar
The Ecologist	1970-1975	Plastics
Einzelne Artikel aus: Modern Plastics Chemical & Engineering News Plastics Engineering Research & Development Magazine Packaging Industrial Management Machine Design New Scientist Chemtech Marine Pollution Bulletin	1970 - 2017	

Müll und Abfall Humuswirtschaft und Kompost aktuell BioCycle		
-----------------------------------------------------------------------	--	--

Bibliographie

- Abernathy, William und James Utterback. 1978. „Patterns of industrial innovation“. *Technology Review* 80 (7): 40-47.
- Akrich, Madeleine, Michel Callon, Bruno Latour und Adrian Monaghan. 2002. „The key to success in innovation part I: The art of interessement“. *International Journal of Innovation Management* 6 (2): 187-206.
- Akyel, Dominic. 2013. *Die Ökonomisierung der Pietät*. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Aldous, Tony. 1971. „Pollution warning to plastics industry“. *The Times*, 18. Februar: 4.
- Alkemade, Floortje und Roald Suurs. 2012. „Patterns of expectations for emerging sustainable technologies“. *Technological Forecasting and Social Change* 79 (3): 448-56.
- American Institute of Chemical Engineers. 1977. *Conference on Chemical Feedstock Alternatives. Proceedings*. New York.
- Anderson, Alistar und Edwin Dawes. 1990. „Occurrence, metabolism, metabolic role, and industrial uses of bacterial polyhydroxyalkanoates“. *Microbiological Reviews* 54 (4): 450-72.
- Aras, Sabine und Harald Käß. 2007. „Biokunststoffe. Marktpotenzial mit Risiken“. *Kunststoffe*, Nr. 10: 149-58.
- Arnold, Nadine und Raimund Hasse. 2016. „Die Organisation von Wertzuschreibungen: Zur Bedeutung von Drittparteien für die Signalisierung moralischer Qualitäten in Märkten“. *Berliner Journal für Soziologie* 26 (3): 329-51.
- Arthur, W. Brian. 1989. „Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events“. *The Economic Journal* 99 (394): 116-31.
- Aspers, Patrik. 2009. „How are markets made?“. *MPIfG Working Paper* 9 (2).
- . 2015. *Märkte*. Wiesbaden: Springer VS.
- Aspers, Patrik und Jens Beckert. 2017. „Märkte“. In *Handbuch der Wirtschaftssoziologie*, hrsg. von Andrea Maurer, 215-40. Wiesbaden: Springer VS.
- Attorney Generals of California, Florida, Massachusetts, Minnesota, Missouri, New York, Texas, Utah, Washington, Wisconsin. 1990. *The Green Report: Findings and Preliminary Recommendations for Responsible Environmental Advertising*.
- Avantium. 2018. Annual report 2018. Abgerufen: 1. Oktober 2019, <https://www.avantium.com/investor-relations/annual-report/>.
- Baker, Nancy. 1993. „Innovations give bioplastics a boost“. *Environment Today*, 1. Juli: 3.
- Baptist, James. 1962. Process for preparing poly-β-hydroxy-butyric acid. hrsg. von United States Patent Office. USA: W.R. Grace & Co.
- Barnett, E. Howard. 1995. „Green with Envy: The FTC, the EPA, the States, and the Regulation of Environmental Marketing“. *Environmental Lawyer* 1 (2): 491-512.
- Barthes, Roland. (1957) 1970. *Mythen des Alltags*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Bathelt, Harald, Patrick Cohendet, Sebastian Henn und Jonathan Simon. 2017. „Innovation and knowledge creation: challenges to the field“. In *The Elgar Companion to Innovation and Knowledge Creation: A Multi-Disciplinary Approach*, hrsg. von Harald Bathelt, Patrick Cohendet, Sebastian Henn und Jonathan Simon, 1-21. Cheltenham: Edward Elgar.
- Baum, Bernard und Rudolph Deanin. 1973. „Controlled UV Degradation in Plastics“. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2 (1): 1-28.
- Baum, Bernard und Roy White. 1973. „The Photoactivated Degradation of Polyolefins“. In *Polymers and Ecological Problems*, hrsg. von James Guillet, 45-60. New York, London: Plenum Press.

- Baur, Nina. 2011. „Mixing process-generated data in market sociology“. *Quality & Quantity* 45 (6): 1233-51.
- Beale, Bob. 1989. „It's the budding idea for the future: plastics from plants“. *The Sidney Morning Herald*, 27. September: 3.
- Beckert, Jens. 2003. „Economic Sociology and Embeddedness: How Shall We Conceptualize Economic Action?“. *Journal of Economic Issues* 37 (3): 769-87.
- . 2007. „Die soziale Ordnung von Märkten“. In *Märkte als soziale Strukturen*, hrsg. von Jens Beckert, Rainer Diaz-Bone und Heiner Ganßmann, 43-62. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- . 2009. „Pragmatismus und wirtschaftliches Handeln“. *MPIfG Working Paper* 9 (4).
- . 2010. „How Do Fields Change? The Interrelations of Institutions, Networks, and Cognition in the Dynamics of Markets“. *Organization Studies* 31 (5): 605-27.
- . 2011. „The Transcending Power of Goods: Imaginative Value in the Economy“. In *The Worth of Goods. Valuation and Pricing in the Economy*, hrsg. von Jens Beckert und Patrik Aspers, 106-28. Oxford: Oxford University Press.
- . 2013. „Imagined futures: fictional expectations in the economy“. *Theory and Society* 42 (3): 219-40.
- . 2016. *Imagined Futures. Fictional Expectations and Capitalist Dynamics*. Cambridge, London: Harvard University Press.
- . 2017. „Die Historizität fiktionaler Erwartungen“. *MPIfG Discussion Paper* 17 (8).
- Beckert, Jens und Patrick Aspers. 2011. *The Worth of Goods. Valuation & Pricing in the Economy*. Oxford: Oxford University Press.
- Beckert, Jens und Christine Musselin. 2013. *Constructing Quality. The Classification of Goods in Markets*. Oxford: Oxford University Press.
- Beeman, Randal. 1994. „Chemivisions": The Forgotten Promises of the Chemurgy Movement“. *Agricultural History* 68 (4): 23-45.
- Bénabou, Roland, Armin Falk und Jean Tirole. 2018. „Narratives, Imperatives and Moral Reasoning“. *IAZ Institute of Labour Economics Working Paper* 11665.
- Benninga, Harm. 1990. *A history of lactic acid making: a chapter in the history of biotechnology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bensaude-Vincent, Bernadette. 2013. „Plastic materials and dreams of dematerialization“. In *Accumulation. The material politics of plastics*, hrsg. von Jennifer Gabrys, Gay Hawkins und Mike Micheal, 17-29. London, New York: Routledge.
- Bensaude-Vincent, Bernadette und Jonathan Simon. 2012. *Chemistry. The Impure Science*. London: Imperial College Press.
- Bertram, Heinz-Ulrich. 2016. „Entsorgung von biologisch abbaubaren Kunststoffen. Kompostieren oder verbrennen?“. *Recycling und Rohstoffe* 9: 532-43.
- Bessy, Christian und Pierre-Marie Chauvin. 2013. „The Power of Market Intermediaries: From Information to Valuation Processes“. *Valuation Studies* 1 (1): 83-117.
- BGBI. 1986. Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz - AbfG) vom 27. August 1986.
- . 1991. Verordnung über die Vermeidung von Verpackungsabfällen - Verpackungsverordnung (VerpackV) vom 12. Juni 1991.
- . 1998a. Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen vom 21. August 1998.
- . 1998b. Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV) vom 21. September 1998.

- . 2005. Dritte Verordnung zur Änderung der Verpackungsverordnung vom 24. Mai 2005.
- . 2013. Bekanntmachung der Neufassung der Bioabfallverordnung vom 4. April 2013.
- . 2017. Gesetz zur Fortentwicklung der haushaltsnahen Getrennterfassung von wertstoffhaltigen Abfällen vom 5. Juli 2017.
- Bicker, Markus, Joachim Hirth und Herbert Vogel. 2003. „Dehydration of fructose to 5-hydroxymethylfurfural in sub-and supercritical acetone“. *Green Chemistry* 5 (2): 280-84.
- Bjørn, Anders, Mikołaj Owsianiak, Christine Molin und Michael Hauschild. 2018. „LCA history“. In *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*, hrsg. von Michael Hauschild, Ralph Rosenbaum und Stig Irving Olsen, 17-30. Cham: Springer.
- Bohlmann, Gregory und Marcos César. 2006. „The Brazilian opportunity for biorefineries“. *Industrial Biotechnology* 2 (2): 127-32.
- Boltanski, Luc und Laurent Thévenot. (1991) 2014. *Über die Rechtfertigung. Eine Soziologie der kritischen Urteilskraft*. Hamburg: Hamburger Edition.
- Borup, Mads, Nik Brown, Kornelia Konrad und Harro van Lente. 2006. „The Sociology of Expectations in Science and Technology“. *Technology Analysis & Strategic Management* 8 (3/4): 285-98.
- Boulding, Kenneth. 1966. „The Economics of the Coming Spaceship Earth“. In *Environmental Quality in a Growing Economy*, hrsg. von H. Jarret, 3-14. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Bowker, Geoffrey und Susan Leigh Star. (1999) 2002. *Sorting Things Out. Classification and Its Consequences*. Cambridge, London: The MIT Press.
- Braun, Benjamin. 2015. „Governing the future: the European Central Bank’s expectation management during the Great Moderation“. *Economy and Society* 44 (3): 367-91.
- Braunegg, Gerhart, Gilles Lefebvre und Klaus Genser. 1998. „Polyhydroxyalkanoates, biopolyesters from renewable resources: physiological and engineering aspects“. *Journal of Biotechnology* 65 (2-3): 127-61.
- Brockhaus, Sebastian, Moritz Petersen und Wolfgang Kersten. 2016. „A crossroads for bioplastics: exploring product developers' challenges to move beyond petroleum-based plastics“. *Journal of Cleaner Production* 127: 84-95.
- Bronk, Richard. 2009. *The Romantic Economist: Imagination in Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bronstein, Scott. 1987. „Garbage Landfills in Half of the States Approaching Capacity“. *The New York Times*, 12. Februar: 20.
- Brown, Nik und Mike Micheal. 2003. „A Sociology of Expectations: Retrospecting Prospects and Prospecting Retrospects“. *Technology Analysis and Strategic Management* 15 (1): 3-18.
- Brown, Nik, Brian Rappert und Andrew Webster. 2000. *Contested Futures. A sociology of prospective techno-science*. Burlington: Ashgate.
- Buchanan, James und Viktor Vanberg. 1991. „The market as a creative process“. *Economics & Philosophy* 7 (2): 167-86.
- Bud, Robert. 1995. *Wie wir das Leben nutzbar machten*. Braunschweig, Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft.
- Bühler, Benjamin. 2013. „Von „Hypothesen, die auf einer Hypothese gründen“. Ökologische Prognostik in den 1970er Jahren“. In *Prophetie und Prognostik. Verfügungen über Zukunft in Wissenschaften, Religionen und Künsten*, hrsg. von Daniel Weidner und Stefan Willer, 59-80. München: Wilhelm Fink.
- . 2016. *Ecocriticism. Grundlagen - Theorien - Interpretationen*. Stuttgart: J.B. Metzler.

- Bundesgütegemeinschaft Kompost. 1998. „BAW in die Biotonne? Nein Danke“. *Humuswirtschaft & Kompost aktuell. Mitteilungsorgan für Mitglieder der Bundesgütegemeinschaft*, Nr. 2: 97-98.
- Bundesrat. 1998. Beschluß des Bundesrates. Erste Verordnung zur Änderung der Bioabfallverordnung vom 6. November.
- . 2011. Antrag des Landes Rheinland-Pfalz. Verordnung zur Änderung der Bioabfallverordnung, der Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung und der Düngemittelverordnung vom 23. November.
- Bundesregierung. 1970. Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Abgeordneten Dr. Bardens, Dr. Brand (Pinneberg), Bay, Schmidt (Kempten), Dr. Rutschke, Kleinert, Krall und der Fraktionen der SPD, FDP am 4. Dezember. Bonn: Bundesministerium des Inneren.
- . 1971. Materialienband zum Umweltprogramm der Bundesregierung. Bonn: Deutscher Bundestag.
- Bundesverband für Sekundärrohstoffe und Entsorgung. 2008. „Eingeschränkte Recyclingfähigkeit von biologisch abbaubaren Kunststoffen“, Pressemitteilung, 15. August. Bonn.
- . 2012. „Biokunststoffe und Recycling. Verbrennung ist sinnvollster Entsorgungsweg für Biokunststoffe“, Pressemitteilung, 12. November. Bonn.
- Bunk, Anneliese und Nadine Schubert. 2016. *Besser leben ohne Plastik*. München: oekom.
- Burt, Ronald. 1992. *Structural Holes: The Social Structure of Competition*. Cambridge: Harvard University Press.
- . 2005. *Brokerage and Closure*. Oxford: Oxford University Press.
- Byrom, David. 1990. „Industrial Production of Copolymer form *Alcaligenes Euthrophus*“. In *Novel Biodegradable Microbial Polymers*, hrsg. von Edwin Dawes, 113-17. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Çalışkan, Koray und Michel Callon. 2010. „Economization, part 2: a research programme for the study of markets“. *Economy and Society* 39 (1): 1-32.
- Callenbach, Ernest. (1975) 2009. *Ecotopia*. New York: Bantam Dell.
- Callon, Michel. 1984. „Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fishermen of St Brieuc Bay“. *The Sociological Review* 32: 196-233.
- . 1998. „An essay on framing and overflowing: economic externalities revisited by sociology“. *The Sociological Review* 46: 244-69.
- . 2010. „Marketing as an art of science of market framing: Commentary“. In *Reconnecting Marketing to Markets*, hrsg. von Luis Araujo, John Finch und Hans Kjellberg, 224-34. Oxford, New York: Oxford University Press.
- Callon, Michel, Cécile Méadel und Vololona Rabeharisoa. 2002. „The economy of qualities“. *Economy and Society* 31 (2): 194-217.
- Cannon, Charles. 1995. „Global strategy for biodegradable plastics“. *BioCycle*, Nr. 7: 83.
- Cantley, Mark und Ken Seargent. 1981. „Biotechnology : The challenge to Europe“. *Revue d'économie industrielle* 18 (4): 319-34.
- Cantner, J., B. Gerstmayr, T. Pitschke und S. Kreibe. 2011. *Evaluierung der Verpackungsverordnung*. Dessau-Roßlau: Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Carothers, Wallace, G. Dorough und F. van Natta. 1932. „Studies of polymerization and ring formation. X. The reversible polymerization of six-membered cyclic esters“. *Journal of the American Chemical Society* 54 (2): 761-72.
- Carpenter, Edward und K.L. Smith. 1972. „Plastics on the Sargasso Sea Surface“. *Science* 175: 1240-41.

- Carus, Michael, Asta Eder und Janpeter Beckmann. 2014. „Green Premium Prices Along the Value Chain of Bio-based Products“. *nova-Institut GmbH* (3).
- Carvalho, Fernando. 1983. „On the Concept of Time in Shacklean and Sraffian Economics“. *Journal of Post Keynesian Economics* 6 (2): 265-80.
- CBS News. 1990. Barry Commoner and Jill Beresford on Biodegradables. Interview.
- Chang, Michele und Patrick Leblond. 2015. „All in: Market expectations of eurozone integrity in the sovereign debt crisis“. *Review of International Political Economy* 22 (3): 626-55.
- Chen, Guo-Qiang. 2010. „Industrial Production of PHA“. In *Plastics from Bacteria: Natural Functions and Applications*, hrsg. von Guo-Qiang Chen. Heidelberg, Berlin: Springer.
- Clemsha, Martin. 2017. „Packaging Opportunities with I'm Green PE“. Konferenzpapier. Bio!pac Conference, Düsseldorf, 4. Mai.
- Commoner, Barry. (1971) 1973. *Wachstumswahn und Umweltkrise*. München, Güterloh, Wien: C. Bertelsmann Verlag.
- . 1976a. Oil, energy and capitalism: An unpublished talk by Barry Commoner. Abgerufen: 5. September 2019, <https://climateandcapitalism.com/2013/07/30/exclusive-an-unpublished-talk-by-barry-commoner/>.
- . 1976b. *The Poverty of Power. Energy and the Economic Crisis*. New York: Alfred A. Knopf.
- Coombs, James. 2007. *Building the European Knowledge Based Bio-Economy. The impact of 'non-food' research (1988 to 2008). Outputs from the EPOBIO project*. Newbury: CPL Press.
- Cooper, Melinda. 2008. *Life as Surplus. Biotechnology and Capitalism in the Neoliberal Era*. Seattle, London: University of Washington Press.
- Crossland, Janice. 1974. „Ferment in Technology“. *Environment*, Nr. 10: 17-30.
- Cutright, D. und E. Hunsuck. 1972. „The repair of fractures of the orbital floor using biodegradable polylactic acid“. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 33 (1): 28-34.
- Daly, Herman. 1973. *Toward a steady-state economy*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Dämmrich, Arthur. 2010. *Co-Innovation of Materials, Standards, and Markets: BASF's Development of Ecoflex*. Philadelphia: Chemical Heritage Foundation. Center for Contemporary History and Policy.
- . 2014. „Anticipatory markets: technical standards as a governance tool in the development of biodegradable plastics“. In *The Governance of Socio-Technical Systems. Explaining Change*, hrsg. von Susana Borrás und Jakob Edler, 49-69. Cheltenham, Northampton: Edward Elgar.
- Daston, Lorraine. 2000. „The Coming into Being of Scientific Objects. Introduction“. In *Biographies of Scientific Objects*, hrsg. von Lorraine Daston, 1-14. Chicago, London: The Chicago University Press.
- Dawes, Edwin. 1990. „Novel Microbial Polymers: An Introductory Overview“. In *Novel Biodegradable Microbial Polymers*, hrsg. von Edwin Dawes, 3-16. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Dawes, Edwin und Peter Senior. 1973. „The role and regulation of energy reserve polymers in micro-organisms“. *Advances in Microbial Physiology* 10: 135-266.
- De Wolff, Kim. 2014. „Gyre Plastic: Science, Circulation and the Matter of the Great Pacific Garbage Patch“. Communication, University of California, San Diego.
- Deanin, Rudolph. 1974. *New Industrial Polymers. ACS Symposium Series*. Washington: American Chemical Society.
- Deephouse, David und Mark Suchman. 2008. „Legitimacy in Organizational Institutionalism“. In *The Sage Handbook of Organizational Institutionalism*, hrsg. von Royston Greenwood, Christine Oliver, Kerstin Sahlin und Roy Suddaby, 49-77. London: Sage Publications.

- Deuten, Jasper, Arie Rip und Jaap Jelsma. 1997. „Societal embedding and product creation management“. *Technology analysis & strategic management* 9 (2): 131-48.
- Deutsche Umwelthilfe. 2011a. „Danone führt Verbraucher mit Werbung für Joghurtbecher aus Biokunststoff in die Irre“, Pressemitteilung, 25. Juli. Berlin.
- . 2011b. „Deutsche Umwelthilfe stoppt irreführende Werbekampagne von Danone“, Pressemitteilung, 15. November. Berlin.
- . 2012a. *Die Wahrheit über biologisch abbaubare Plastiktüten. Hintergrundpapier der Deutschen Umwelthilfe e.V. zur Pressekonferenz am 11. April 2012.*
- . 2012b. „Nach ALDI lenkt auch REWE im Bioplastiktütenstreit ein“, Pressemitteilung, 25. April. Berlin.
- Deutscher Bundestag. 1976. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Abfallwirtschaftsprogramm '75 der Bundesregierung.
- Deutsches Institut für Normung. 1998. DIN54900. Prüfung der Kompostierbarkeit von polymeren Werkstoffen. Berlin: Beuth Verlag.
- Diaz-Bone, Rainer. 2007. „Qualitätskonventionen in ökonomischen Feldern“. *Berliner Journal für Soziologie* 17 (4): 489-509.
- . 2009. „Économie des Conventions“. In *Wirtschaftssoziologie*, hrsg. von Jens Beckert und Christoph Deutschmann, *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie. Sonderheft 49.*, 176-93. Wiesbaden: Springer VS.
- Dietz, Elisabeth. 1994. „Der politische Rahmen für alternative Verpackungen. Nachwachsende Rohstoffe in der EG-Agrarpolitik“. In *Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen*, hrsg. von Karin Westermann. Würzburg: Vogel Buchverlag.
- DiMaggio, Paul. 1994. „Culture and Economy“. In *The Handbook of Economic Sociology*, hrsg. von Neil Smelser und Richard Swedberg, 27-58. Princeton, Oxford: Princeton University Press.
- DiMaggio, Paul und Walter Powell. 1991. „Introduction“. In *The New Institutionalism in Organizational Analysis*, hrsg. von Walter Powell und Paul DiMaggio, 1-38. Chicago, London: The University of Chicago Press.
- Doganova, Liliana und Peter Karnøe. 2015. „Building markets for clean technologies: Controversies, environmental concerns and economic worth“. *Industrial Marketing Management* 44: 22-31.
- Domenek, Sandra und Violette Ducruet. 2011. „Characteristics and Applications of PLA“. In *Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications*, hrsg. von Kalia Susheel und Luc Avérous, 183-224. Hoboken, Salem: Wiley-Scrivener.
- Dubos, René. 1976. „Symbiosis Between the Earth and Humankind“. *Science* 193 (4252): 459-62.
- Durand, Rodolphe, Nina Granqvist und Anna Tyllström. 2017a. „From Categories to Categorization: A Social Perspective on Market Categorization“. In *From Categories to Categorization. Studies in Sociology, Organizations and Strategy at the Crossroads*, hrsg. von Rodolphe Durand, Nina Granqvist und Anna Tyllström, 3-30. Bingley: Emerald.
- . 2017b. *From Categories to Categorization: Studies in Sociology, Organizations and Strategy at the Crossroads.* Bingley: Emerald.
- Ebbert, Elizabeth. 1988. „Congress investigates 'Six-Pack-Rings'“. *Nature* 344: 459.
- Ecoplastics Limited. o. J. Ecolyte. Photo-Biodegradable Plastics. Werbebroschüre.
- Editors. 1975. „1975-2000: Plastics – the next 25 years“. *Modern Plastics*, Oktober: 39-86.
- Edminster, T. 1976. „Bioconversion Byproducts: Feed, Fertilizers, and Feedstocks“. Konferenzpapier. A Conference on Capturing the Sun through Bioconversion, Washington, 10.-12. März.

- Eerhart, A., A. Faaji und Martin Patel. 2012. „Replacing fossil based PET with biobased PEF; process analysis, energy and GHG balance“. *Energy & Environmental Science* 5: 6407–22.
- Egan, Michael. 2007. *Barry Commoner and the Science of Survival*. Cambridge: MIT Press.
- Eggs, H., J. Mills, A. Holt und G. Scott. 1971. „Biodeterioration and Biodegradation of Synthetic Polymers“. In *Microbial Aspects of Pollution*, hrsg. von G. Sykes und F.A. Skinner, 267-79. London, New York: Academic Press.
- Ehrlich, Paul. 1968. *The population bomb*. New York: Ballantine Books.
- Ellen McArthur Foundation. 2016. *The New Plastics Economy*.
- Elmore, Bartow. 2012. „The American Beverage Industry and the Development of Curbside Recycling Programs“. *The Business History Review* 86 (3): 477-501.
- Elzinga, Kenneth und David Mills. 1996. „Innovation and Entry in the US Disposable Diaper Industry“. *Industrial and Corporate Change* 5 (3): 791-812.
- Endres, Hans-Josef und Andrea Siebert-Rath. 2009. *Technische Biopolymere. Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co.
- Engelman Machado, Raquel. 2010. „Competitive strategy and sustainable product: Braskem’s green polyethylene“. *Gestão Contemporânea* (8).
- Environmental Protection Agency. 1990. *Methods to Manage and Control Plastic Wastes*. Office of Solid Waste. Office of Water.
- Esposito, Fernando. 2017. *Zeitenwandel. Transformation geschichtlicher Zeitlichkeit nach dem Boom*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Europäische Kommission. 1980. Tomorrow's Bio-society.
- . 1985. Perspectives for the Common Agricultural Policy. Green Paper.
- . 1997. Renewable Biomaterials. Non-food research. Green Chemicals, Bioenergy.
- . 2012. Innovating for Sustainable Growth. A Bioeconomy for Europe. hrsg. von Generaldirektion Forschung und Innovation: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union.
- . 2017a. Bioplastics: Sustainable materials for building a strong and circular European bioeconomy. Cordis - Forschungs- & Entwicklungsinformationsdienst der Gemeinschaft.
- . 2017b. Review of the 2012 European Bioeconomy Strategy. hrsg. von Generaldirektion Forschung und Innovation.: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union.
- . 2019. „Circular Economy: Commission welcomes European Parliament adoption of new rules on single-use plastics to reduce marine litter“, Pressemitteilung, 27. März. Brüssel.
- European Bioplastics. 2019a. Bioplastic materials. Abgerufen: 8. September 2019, <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/>.
- . 2019b. Bioplastics - Facts and Figures. Abgerufen: 8. September 2019, https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf.
- . 2019c. Bioplastics market data. Abgerufen: 8. September 2019, <https://www.european-bioplastics.org/market/>.
- . 2019d. Environmental benefits of bioplastics. Abgerufen: 10. September 2019, <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/environment/>.
- . 2019e. Harmonised standards for bioplastics. Abgerufen: 8. September 2019, <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/standards/>.
- . 2019f. What are bioplastics? Abgerufen: 8. September 2019, <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>.
- Evans, Edward. 1973. *Degradability of plastics. Plastics and the Environment*. Hrsg. von The British Plastics Federation. London: Hutchinson Benham Limited.

- Evans, Janis und Subhas Sikar. 1990. „Biodegradable plastics: An idea whose time has come?“. *Chemtech*, Januar: 38-42.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. 2017. *PLA-Abfälle im Abfallstrom*. https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/171117-A5bro-ergebnisbericht-pla-abfaelle_web.pdf.
- Falkenhag, Ingemar. 1974. „Renewable Resources and Solar Energy Conversion Systems“. In *New Industrial Polymers*, hrsg. von Rudolph Deanin, 170-71. Washington: American Chemical Society.
- Fargo, Charlyn. 1988. „ADM sees future in plastics, marketing degradable type“. *Crain's Chicago Business*, 7. November: 52.
- Farla, Jacco, Floortje Alkemade und Roald Suurs. 2010. „Analysis of barriers in the transition toward sustainable mobility in the Netherlands“. *Technological Forecasting and Social Change* 77 (8): 1260-69.
- FAST. 1984. *Objectives and Work Programme. 1984-1987*. Kommission der Europäischen Gemeinschaft.
- . 1987. *The Agro-Chemo-Energy Complex. Alternative Landnutzung für die Produktion von Biomass für Energieträger und chemisch-technische Grundstoffe*. Kommission der Europäischen Gemeinschaft.
- . (1984) 1987. *Die Zukunft Europas. Gestaltung durch Innovationen*. Kommission der Europäischen Gemeinschaft.
- Feder, Barnaby. 1985. „'Bugs' That Make Plastics“. *New York Times*, 3. Mai: 2.
- Ferguson, Sean. 2012. „Plastics Without Petroleum. History and Politics of 'Green' Plastics in the United States“. Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute.
- Finlay, Mark. 2003. „Old Efforts at New Uses: A Brief History of Chemurgy and the American Search for Biobased Materials“. *Journal of Industrial Ecology* 7 (3-4): 33-46.
- Fishlock, David. 1982. „Plastics from Bacteria“. *Financial Times*, 15. November: 9.
- Fligstein, Neil. 1996. „Markets as Politics: A Political-Cultural Approach to Market Institutions“. *American Sociological Review* 61 (4): 656-73.
- . 2001. *The Architecture of Markets. An Economic Sociology of Twenty-First-Century Capitalist Societies*. Princeton, Oxford: Princeton University Press.
- Forstner, Thomas. 2015. *1974–2014. 40 Jahre Umweltbundesamt*. Umweltbundesamt.
- Fourcade, Marion. 2012. „The vile and the noble: On the relation between natural and social classifications in the French wine world“. *The Sociological Quarterly* 53 (4): 524-45.
- Fourcade, Marion und Kieran Healy. 2007. „Moral views of market society“. *Annual Review of Sociology* 33: 285-311.
- . 2017. „Categories all the way down“. *Historical Social Research/Historische Sozialforschung* 42 (1): 286-96.
- Freidberg, Susanne. 2013. „Calculating sustainability in supply chain capitalism“. *Economy and Society* 42 (4): 571-96.
- Fricke, Klaus und Thomas Turck. 2000. „Stand und Perspektiven der biologischen Abfallverwertung und -behandlung in Deutschland“. *TA-Datenbank-Nachrichten* 9 (1): 24-36.
- Fritz, Michael. 1987. „Meanwhile, on the legislative front“. *Forbes*, 5. Oktober: 210.
- Garud, Raghu, Cynthia Hardy und Steve Maguire. 2007. „Institutional entrepreneurship as embedded agency: An introduction to the special issue“. *Organization Studies* 28 (7): 597-969.
- Garud, Raghu, Henri Schildt und Theresa Lant. 2014. „Entrepreneurial Storytelling, Future Expectations, and the Paradox of Legitimacy“. *Organization Science* 25 (5): 1479-92.

- Garud, Raghu, Philipp Tuertscher und Andrew Van de Ven. 2013. „Perspectives on innovation processes“. *Academy of Management Annals* 7 (1): 775-819.
- Geels, Frank und Wim Smit. 2000. „Failed technology futures: pitfalls and lessons from a historical survey“. *Futures* 32 (9-10): 867-85.
- Geels, Frank und Bram Verhees. 2011. „Cultural legitimacy and framing struggles in innovation journeys: a cultural-performative perspective and a case study of Dutch nuclear energy (1945–1986)“. *Technological Forecasting and Social Change* 78 (6): 910-30.
- George, J. David. 1971. „Can the seas survive? Long-term effects of pollution on marine life“. *Ecologist* 1 (9): 4-9.
- Georgescu-Roegen, Nicholas. 1975. „Energy and Economic Myths“. *Southern Economic Journal* 41 (3): 347-81.
- . 1977. „Inequality, limits and growth from a bioeconomic viewpoint“. *Review of Social Economy* 35 (3): 361-75.
- Gläser, Jochen und Grit Laudel. 2010. *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. Wiesbaden: Springer VS.
- Glückler, Johannes und Harald Bathelt. 2017. „Institutional Context and Innovation“. In *The Elgar Companion to Innovation and Knowledge Creation*, hrsg. von Harald Bathelt, Patrick Cohendet, Sebastian Henn und Laurent Simon, 121-37. Cheltenham: Edward Elgar.
- Glynn, Mary Ann und Chad Navis. 2013. „Categories, identities, and cultural classification: Moving beyond a model of categorical constraint“. *Journal of Management Studies* 50 (6): 1124-37.
- Godet, Michel und Olivier Ruysen. 1980. *The Old World and the new technologies. Challenges to Europe in a hostile world. The European Perspectives*. Kommission der Europäischen Gemeinschaft.
- Goldstein, Irving. 1975. „Potential for Converting Wood into Plastics“. *Science* 189 (4109): 847-52.
- Graf, Rüdiger. 2008. *Die Zukunft der Weimarer Republik. Krisen und Zukunftsaneignungen in Deutschland 1918-1933*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- . 2012. „Von der Energievergessenheit zur theoretischen Metonymie. Energie als Medium der Gesellschaftsbeschreibung im 20. Jahrhundert“. In *Energie in der modernen Gesellschaft. Zeithistorische Perspektiven*, hrsg. von Hendrik Ehrhardt und Thomas Kroll, 73-92. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- . 2014. *Öl und Souveränität. Petroknowledge und Energiepolitik in den USA und Westeuropa in den 1970er Jahren*. Berlin, München, Boston: De Gruyter.
- . 2016. „Totgesagt und nicht gestorben: die Persistenz des Fortschritts im 20. und 21. Jahrhundert“. *Traverse : Zeitschrift für Geschichte* (3): 91-103.
- Graf, Rüdiger und Benjamin Herzog. 2016. „Von der Geschichte der Zukunftsvorstellungen zur Geschichte ihrer Generierung. Probleme und Herausforderungen des Zukunftsbezugs im 20. Jahrhundert“. *Geschichte und Gesellschaft* 42 (3): 497-515.
- Graf, Rüdiger und Konrad Jarausch. 2017. „Crisis“ in Contemporary History and Historiography. *Docupedia-Zeitgeschichte*. http://docupedia.de/zg/graf_jarausch_crisis_v1_en_2017.
- Granovetter, Mark. 1985. „Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness“. *American Journal of Sociology* 91 (3): 481-510.
- Griffin, Gerald. 1974. „Biodegradable fillers in thermoplastics“. *Advances in Chemistry Series* (134): 159-70.
- Grodal, Stine und Steven Kahl. 2017. „The Discursive Perspective of Market Categorization: Interaction, Power, and Context“. In *From Categories to Categorization: Studies in*

- Sociology, Organizations and Strategy at the Crossroads*, hrsg. von Rodolphe Durand, Nina Granqvist und Anna Tyllström, 151-84. Bingley: Emerald Publishing.
- Gross, Sidney. 1973a. „Editorial. Action for the long term and the short“. *Modern Plastics*, Dezember: 43.
- . 1973b. „How much resin will there be in 1973? In 1975? In 1980?“. *Modern Plastics*, Oktober: 66-69.
- . 1973c. „What next for the plastic industry“. *Modern Plastics*, Oktober: 61-69.
- . 1975a. „Editorial“. *Modern Plastics*, Juli: 37.
- . 1975b. „Editorial“. *Modern Plastics*, Februar: 41.
- Grossarth, Jan. 2011. „Im Gespräch: Andreas Ostermayr, Geschäftsführer Danone Deutschland und Schweiz. "Wir müssen weg vom Erdöl"“. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 1. April: 18.
- Gruber, Patrick, Eric Hall, Jeffrey Kolstad, Matthew Iwen, Richard Benson und Ronald Borchardt. 1992. Continuous process for manufacture of lactide polymers with controlled optical purity. hrsg. von United States Patent Office. USA: Cargill.
- Grunwald, Henning und Manfred Pfister. 2007. *Krisis! Krisenszenarien, Diagnosen und Diskursstrategien*. München: Wilhelm Fink Verlag.
- Grushkin, Daniel. 2011. „Breaking the mold“. *Nature Biotechnology* 29: 16.
- Guggenheim, Michael und Jörg Potthast. 2012. „Symmetrical twins: On the relationship between Actor-Network theory and the sociology of critical capacities“. *European Journal of Social Theory* 15 (2): 157-78.
- Guillet, James. 1973a. *Polymers and Ecological Problems*. Bd. 3 von *Polymer Science and Technology*. New York, London: Plenum Press.
- . 1973b. „Polymers with Controlled Lifetimes“. In *Polymers and Ecological Problems*, hrsg. von James Guillet, 1-25. New York, London: Plenum Press.
- . 1974. „Plastics, energy, and ecology - a harmonious triade“. *Plastics Engineering*, August: 48-56.
- Halbekath, Jürgen. 1994. „Institut für ökologisches Recycling Berlin: Recycling ist keine Lösung“. In *Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen*, hrsg. von Karin Westermann, 511-14. Würzburg: Vogel Buchverlag.
- Haldenwanger, Hans 1970. *Biologische Zerstörung der makromolekularen Werkstoffe. Chemie, Physik und Technologie der Kunststoffe in Einzeldarstellungen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hale, William. 1926. „Farming must become a chemical industry“. *Dearborn Independent* 2: 4-5.
- . 1932. *Chemistry Triumphant: The Rise and Reign of Chemistry in a Chemical World*. Baltimore: Williams & Wilkins Co.
- Hall, Alan. 1972. „Look quick! These plastics are going fast“. *Modern Plastics*, Mai: 56-58.
- Hansard. 1971. Self-destroying Plastic. House of Commons. 18. Januar.
- Hargadon, Andrew und Yellowlees Douglas. 2001. „When innovations meet institutions: Edison and the design of the electric light“. *Administrative Science Quarterly* 46 (3): 476-501.
- Harris, S. 1987. „The provision of carbohydrates for the European Community's Biotechnology and Chemical Industries“. *Journal of Agricultural Economics* 38 (3): 423-34.
- Hasse, Raimund und Georg Krücken. 1999. *Neo-Institutionalismus*. Bielefeld: Transcript.
- Hawkins, Gay. 2011. „Packaging water: plastic bottles as market and public devices“. *Economy and Society* 40 (4): 534-52.
- Healy, Kieran. 2010. *Last Best Gifts. Altruism and the Market for Human Blood and Organs*. Chicago: The University of Chicago Press.

- Heilige, Hans Dieter. 1994. „Wirtschafts-, Energie- und Stoffkreisläufe in säkularer Perspektive: Von der thermodynamischen Entzauberung der Welt zur recyclingorientierten Wachstumsgesellschaft“. In *Universalgeschichte und Nationalgeschichten*, hrsg. von Gangolf Hübinger, Jürgen Osterhammel und Erich Pelzer, 291-315. Freiburg: Rombach Verlag.
- Heinrich, Jürgen. 1991. „Im Gleichgewicht mit der Natur. Wissenschaftler warnen vor dem Müllchaos. Biowerkstoffe: Die Abbaubaren kommen“. *VDI-Nachrichten*, 8. März: 10.
- Henthorne, Cynthia. 2006. *From Submarines to Suburbs. Selling a Better America, 1939–1959*. Athens: Ohio University Press.
- Hering, Linda und Robert Jungmann. 2019. „Einzelfallanalyse“. In *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, hrsg. von Nina Baur und Jörg Blasius, 619-32. Wiesbaden: Springer VS.
- Hermann, B., K. Blok und M. Patel. 2007. „Producing Bio-Based Bulk Chemicals Using Industrial Biotechnology Saves Energy and Combats Climate Change“. *Environmental Science & Technology* 41 (22): 7915-21.
- Heßler, Martina. 2013. „Wegwerfen. Zum Wandel des Umgangs mit Dingen“. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 16 (2): 253-166.
- Heyerdahl, Thor. 1972. „Addendum. Written Comment from Thor Heyerdahl“. In *The Environmental Future. Proceedings of the first International Conference on Environmental Future, held in Finland from 27 June to 3 July 1971*, hrsg. von Nicholas Polunin, 286-89. London, Basingstoke: Macmillan.
- Höhler, Sabine. 2015. *Spaceship Earth in the Environmental age, 1960-1990*. London: Pickering & Chatto.
- Holmes, Douglas R. 2013. *Economy of words: communicative imperatives in central banks*. Chicago, London: University of Chicago Press.
- Hölscher, Lucian. 2016. *Die Entdeckung der Zukunft*. Göttingen: Wallstein Verlag.
- Holusha, John. 1989. „Doubts are Voiced on 'Degradable' Plastic Waste“. *The New York Times*, 25. Oktober: 1.
- . 1990a. „Mobil Ends Environmental Claim“. *The New York Times*, 30. März: 1.
- . 1990b. „Technology scientists are proving that natural plastic is not an oxymoron“. *The New York Times*, 21. Oktober: 9.
- Horn, Eva. 2014. *Zukunft als Katastrophe*. Frankfurt am Main: S. Fischer Verlag.
- Hsu, Greta, Giacomo Negro und Ölgecan Kocak. 2010. *Categories in Markets: Origins and Evolution*. Bingley: Emerald.
- Huffman, George und Daniel Keller. 1973. „The Plastics Issue“. In *Polymers and Ecological Problems*, hrsg. von James Guillet, 155-68. New York, London: Plenum Press.
- Hünemörder, Kai. 2004. *Die Frühgeschichte der globalen Umweltkrise und die Formierung der deutschen Umweltpolitik (1950-1973)*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- ICIS. 2017. „EU puts its support behind bio-polymer“, Pressemitteilung, 23. Juni.
- Iles, Alastair und Abigail Martin. 2013. „Expanding bioplastics production: sustainable business innovation in the chemical industry“. *Journal of Cleaner Production* 45: 38-49.
- Institut für Energie- und Umweltforschung. 2012. *Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen*. Heidelberg: Erstellt für das Umweltbundesamt.
- Institut für Energie- und Umweltforschung und Bayrisches Institut für angewandte Umweltforschung. 2002. *Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Vergleichende Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. Polystyrol*.

- International Maritime Organization. 1972. Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter. <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/Documents/LC1972.pdf>.
- Jackanicz, Theodore, Harold Nash, Donald Wise und John Gregory. 1973. „Polylactic acid as a biodegradable carrier for contraceptive steroids“. *Contraception* 8 (3): 227-34.
- Jasanoff, Sheila. 2015. „Future Imperfect: Science, Technology, and the Imaginations of Modernity“. In *Dreamscapes of Modernity. Sociotechnical Imaginaries and the Fabrication of Power*, hrsg. von Sheila Jasanoff und Sang-Hyun Kim. Chicago, London: The University of Chicago Press.
- Jasanoff, Sheila und Sang-Hyun Kim. 2009. „Containing the Atom: Sociotechnical Imaginaries and Nuclear Power in the United States and South Korea“. *Minerva* 47: 119–46.
- . 2015. *Dreamscapes of Modernity. Sociotechnical Imaginaries and the Fabrication of Power*. Chicago, London: The University of Chicago Press.
- Jessop, Bob. 2010. „Cultural political economy and critical policy studies“. *Critical Policy Studies* 3 (3-4): 336-56.
- . 2012. „Economic and Ecological Crises: Green new deals and no-growth economies“. *Development* 55 (1): 17–24.
- . 2013. „Recovered imaginaries, imagined recoveries: a cultural political economy of crisis construals and crisis management in the North Atlantic financial crisis“. In *Before and Beyond the Global Economic Crisis*, hrsg. von Mats Benner. Cheltenham, Northampton: Edward Elgar.
- Joas, Hans. 1996. *Die Kreativität des Handelns*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Johansson, Daniel. 2000. *Renewable Raw Materials. A way to reduce greenhouse gas emissions for the EU industry?* : Europäische Kommission.
- Johnson, Cathryn, Timothy Dowd und Cecilia Ridgeway. 2006. „Legitimacy as a Social Process“. *Annual Review of Sociology* 32 (1): 53-78.
- Joly, Pierre-Benoît. 2010. On the economics of techno-scientific promises. *Débordements. Mélanges offerts à Michel Callon*. Abgerufen: 1. Oktober 2019, <http://books.openedition.org/pressesmines/747>.
- Jones, Allen. 1971. „Plastic decay“. *The Ecologist* 1 (10): 9-11.
- Jopski, T. 1993. „Biologisch abbaubare Kunststoffe“. *Kunststoffe*, Nr. 10: 748-51.
- Jördens, R. 1996. „Rahmenbedingungen für biologisch abbaubare Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“. Konferenzpapier. Fachtagung: Biologisch abbaubare Werkstoffe, Würzburg, 28.-29. Februar.
- Käb, Harald. 2002a. „Wo steht die Marktentwicklung heute?“. Konferenzpapier. Fachtagung: Biologisch abbaubare Werkstoffe, Würzburg, 27.-28. Februar.
- . 2002b. „Zurück zur Natur. Trends bei der Produktentwicklung und Märkten von biologisch abbaubaren Werkstoffen“. *Kunststoffe*, Nr. 9: 34-40.
- . 2004. „Die Zeichen stehen auf Wachstum“. *Kunststoffe*, Nr. 8: 68-74.
- . 2006. „Risiken in Chancen verwandeln“. *Kunststoffe*, Nr. 4: 61-68.
- Käb, Harald, Florence Aeschelmann, Lara Dammer und Michael Carus. 2016. Market study on the consumption of biodegradable and compostable plastic products in Europe 2015 and 2020. Broschüre. hrsg. von Nova-Institut: Narocon Innovation Consulting.
- Katan, L.L. 1972. „Academic difference over plastics“. *The Times*, 21. August: 16.
- Kauertz, Benedikt, Andreas Detzel und Susanne Volz. 2011. *Ökobilanz von Danone Activia-Verpackungen aus Polystyrol und Polylactid. Endbericht im Auftrag der Danone GmbH, Deutschland*. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.

- Kaufman, Morris. 1963. *The first century of plastics. Celluloid and its sequel*. London: Plastics Institute.
- Keeler, Robert. 1991. „Don't Let Food Go to Waste - Make Plastics Out of It. Researchers are learning to turn potato starch into lactic acid, and then into a plastic. But can they do it cheaply?“. *Research & Development Magazine*, Februar: 52-57.
- Kehoe, Terence. 1992. „Merchants of Pollution?: The Soap and Detergent Industry and the Fight to Restore Great Lakes Water Quality, 1965-1972“. *Environmental History Review* 16 (3): 21-46.
- Kehres, Bertram. 2015. „Nicht in die Biotonne! Biologisch abbaubare Kaffeekapseln“. *Humus & Kompostwirtschaft aktuell. Ein Informationsdienst der BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.* 12: 9.
- Keillur, Julian. 1973. „Editorial“. *Modern Plastics International*, Dezember: 19.
- . 1974. „Editorial“. *Modern Plastics International*, Januar: 17.
- . 1977. „The litter solution that nobody wants“. *Modern Plastics International*, Juni: 5.
- Keller, Reiner. (1998) 2009. *Müll - Die gesellschaftliche Konstruktion des Wertvollen. Die öffentliche Diskussion über Abfall in Deutschland und Frankreich*. Wiesbaden: Springer VS.
- Kennedy, Mark. 2008. „Getting Counted: Markets, Media, and Reality“. *American Sociological Review* 73 (2): 270-95.
- Khaire, Mukti. 2017. „The Importance of Being Independent: The Role of Intermediaries in Creating Market Categories“. In *From Categories to Categorization. Studies in Sociology, Organization and Strategy at the Crossroads*, hrsg. von Rodolphe Durand, Nina Granqvist und Anna Tyllström, 259-93. Bingley: Emerald Publishing.
- Khaire, Mukti und R. Daniel Wadhvani. 2010. „Changing landscapes: The construction of meaning and value in a new market category - Modern Indian art“. *Academy of Management Journal* 53 (6): 1281-304.
- Kimball, Thomas. 1976. „Environmental Considerations in Harnessing the Sun through Bioconversion“. Konferenzpapier. A Conference on Capturing the Sun through Bioconversion, Washington, 10.-12. März.
- King, Brayden und Nicholas Pearce. 2010. „The contentiousness of markets: Politics, social movements, and institutional change in markets“. *Annual Review of Sociology* 36: 249-67.
- King, PP. 1982. „Biotechnology. An industrial view“. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 32 (1): 2-8.
- Kishna, Maikel, Eva Niesten, Simona Negro und Marko Hekkert. 2016. „The role of alliances in creating legitimacy of sustainable technologies: A study on the field of bioplastics“. *Journal of Cleaner Production* 155: 7-16.
- Kjellberg, Hans, Frank Azimont und Emma Reid. 2015. „Market innovation processes: Balancing stability and change“. *Industrial Marketing Management* 44: 4-12.
- Kjellberg, Hans, Alexandre Mallard, Diane-Laure Arjaliès, Patrik Aspers, Stefan Beljean, Alexandra Bidet, Alberto Corsin, Emmanuel Didier, Marion Fourcade und Susi Geiger. 2013. „Valuation studies? Our collective two cents“. *Valuation Studies* 1 (1): 11-30.
- König, Wolfgang. 2000. *Geschichte der Konsumgesellschaft*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Konrad, Kornelia, Harro van Lente, Christopher Groves und Cynthia Selin. 2016. „Performing and Governing the Future in Science and Technology“. In *The Handbook of Science and Technology Studies*, hrsg. von Ulrike Felt, Rayvon Fouche, Clark Miller und Laurel Smith-Doerr, 465-93. Cambridge: MIT Press.

- Kopytoff, Igor. 1986. „The cultural biography of things. Commoditization as process“. In *The social life of things: commodities in cultural perspective*, hrsg. von Arjun Appadurai, 64-91. Cambridge: Cambridge University Press.
- Körner, I., K. Redemann und R. Stegmann. 2005. „Behaviour of biodegradable plastics in composting facilities“. *Waste Management* 25 (4): 409-15.
- Köster, Roman. 2014. „Abschied von der „verlorenen Verpackung“: Das Recycling von Hausmüll in Westdeutschland 1945–1990“. *TG Technikgeschichte* 81 (1): 33-60.
- . 2017. *Hausmüll. Abfall und Gesellschaft in Westdeutschland 1945–1990*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Kramer, Bernd. 1987. „Vorwort zur deutschen Ausgabe“. In *Die Zukunft Europas. Gestaltung durch Innovation*, hrsg. von Europäische Kommission, V-VI. London: Butterworth & Co.
- Krätz, Otto. 1985. „So fing es an“. In *Kunststoffe - ein Werkstoff macht Karriere*, hrsg. von W. Glenz, 9-32. München: Hanser Verlag.
- Kriegel, Robert, Xioayan Huang und Mikell Schultheis. 2008. Bio-based polyethylene terephthalate polymer and method of making same. hrsg. von United States Patent Office. USA: The Coca-Cola Company.
- Krieger, James. 1978. „CHEMRAWN I faces up to raw materials future“. *Chemical & Engineering News*, Nr. 24: 28-31.
- Krohn, Wolfgang, Holger Hoffmann-Riem und Matthias Groß. 2011. „Innovationspraktiken der Entsorgung von Müll und Abfall“. In *Handbuch Umweltsoziologie*, 421-42. Springer VS.
- Kronenthal, Richard. 1975. „Biodegradable polymers in medicine and surgery“. In *Polymers in medicine and surgery*, 119-37. Springer.
- Krüger, Anne und Martin Reinhart. 2016. „Wert, Werte und (Be)Wertungen. Eine erste begriffs- und prozesstheoretische Sondierung der aktuellen Soziologie der Bewertung“. *Berliner Journal für Soziologie* 26 (3): 485-500.
- Küffner, Georg. 1998. „Nicht eßbar, aber immerhin für den Kompost geeignet“. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 13. Januar: 4.
- Kulkarni, R., K. Pani, C. Neuman und F. Leonard. 1966. *Polylactic acid for surgical implants*. Washington DC: Walter Reed Army Medical Center. Army Medical Biomechanical Research Lab.
- Kupper, Patrick. 2003. „Die 1970er-Diagnose. Grundsätzliche Überlegungen zu einem Wendepunkt in der Umweltgeschichte“. *Archiv für Sozialgeschichte* 42: 325-48.
- Lafaye, Claudette und Laurent Thévenot. 1993. „Une justification écologique?: Conflits dans l'aménagement de la nature“. *Revue Française de Sociologie* 34 (4): 495-524.
- Latour, Bruno. 2005. *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- Laville, Sandra und Matthew Taylor. 2017. A million bottles a minute: world's plastic binge 'as dangerous as climate change'. *The Guardian*. Abgerufen: 6. September 2019, <https://www.theguardian.com/environment/2017/jun/28/a-million-a-minute-worlds-plastic-bottle-binge-as-dangerous-as-climate-change>.
- Lawrence, Thomas und Nelson Phillips. 2004. „From Moby Dick to Free Willy: Macro-Cultural Discourse and Institutional Entrepreneurship in Emerging Institutional Fields“. *Organization* 11 (5): 689-711.
- Lee, Betty. 1968. „Nightmare of throwaway era“. *The Times*, 26. Februar: XI.
- Lemoigne, M. 1927. „Etudes sur L'autolyse Microbienne Origine de L'acide β -Oxybutyrique forme par Autolyse“. *Annales de l'Institut Pasteur* 41: 148.
- Lenz, Robert und Robert Marchessault. 2005. „Bacterial Polyesters: Biosynthesis, Biodegradable Plastics and Biotechnology“. *Biomacromolecules* 6 (1): 1-8.

- Lester, Richard und Micheal Piore. 2004. *Innovation. The Missing Dimension*. Cambridge: Harvard University Press.
- Lewin, Roger. 1971. „Who pays for plastic litter?“. *New Scientist and Science Journal*, 25. Februar: 440-41.
- Lieber, Robert. 1983. *The Oil Decade*. New York: Praeger Publisher.
- Lindsay, Karen. 1992. „Truly degradable' resins are now truly commercial“. *Modern Plastics International*, Februar: 30-32.
- Lipinsky, Edward. 1978. „Fuels from Biomass: Integration with Food and Materials Systems“. *Science* 199 (4329): 644-51.
- . 1981. „Chemicals from biomass: petrochemical substitution options“. *Science* 212 (4502): 1465-71.
- Lipinsky, Edward und Richard Sinclair. 1986. „Is lactic acid a commodity chemical?“. *Chemical Engineering Progress* 82 (8): 26-32.
- Liverani, Marco. 2011. „European Futures. The Politics and Practice of Research Policies in the European Union“. University of Exeter.
- Lloyd, Roger. 1987. „PHBV - Biodegradable Plastic“. In *Degradable Plastics. Proceedings of the SPI Symposium on Degradable Plastics*, hrsg. von The Society of the Plastics Industry, 19-21. Washington.
- Long, Louis. 1949. *Sugar and Sugar By-Products in the Plastics Industry*. New York: Sugar Research Foundation Inc.
- Lounsbury, Michael und Hayagreeva Rao. 2004. „Sources of durability and change in market classifications: A study of the reconstitution of product categories in the American mutual fund industry, 1944–1985“. *Social Forces* 82 (3): 969-99.
- Lowe, Charles. 1954. Preparation of high molecular weight polyhydroxyacetic ester. hrsg. von United States Patent Office. USA: E. I. Du Pont de Nemour and Company.
- Lucas, Allison. 1995. „Companies look to cultivate biodegradable market“. *Chemical Week*, 8. Februar: 37.
- Ludlow, N. Piers. 2009. „The green heart of Europe? The rise and fall of the CAP as the Community's central policy, 1958-1985“. In *Fertile Ground for Europe? The History of European Integration and the Common Agricultural Policy since 1945*, hrsg. von Kiran Klaus Patel, 79-96. Baden-Baden: Nomos.
- Luhmann, Niklas. 1986. *Ökologische Kommunikation. Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen?* Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Lunt, James. 1998. „Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers“. *Polymer Degradation and Stability* 59: 145-52.
- MacBride, Roland. 1973. „There is more bad news than good about the crisis in feedstocks“. *Modern Plastics*, Dezember: 12.
- . 1975. „Resin producers confidence is reflected in more new plans for expansion“. *Modern Plastics*, Juli: 14.
- MacKenzie, Donald. 2009. *Material. Markets. How Economic Agents Are Constructed*. Oxford, New York: Oxford University Press.
- Mackerron, Conrad. 1987. „Lawmakers look at plastics“. *Chemical Week*, 17. Juni: 17.
- Mackwitz, Hanswerner und Wolfgang Stadlbauer. 2001. *Strategien und konkrete Beispiele für den Einsatz biologisch abbaubarer Werkstoffe (BAW) in der Stadt Wien*.
- Madison, Lara und Gjalte Huisman. 1999. „Metabolic engineering of poly (3-hydroxyalkanoates): from DNA to plastic“. *Microbiology and molecular biology reviews* 63 (1): 21-53.

- Mangan, Ciaran und James Coombs. 2004. „Renewable Raw Materials and European Union Research Policy“. In *Biomass and Agriculture. Sustainability, Markets and Policies*, hrsg. von OECD, 335-48. Paris.
- Manning, Anita. 1989. „Degradable plastic tagged as a rip-off“. *USA Today*, 13. Dezember: 1A.
- Marchessault, Robert. 2009. „Polyhydroxyalkanoate (PHA) history at Syracuse University and beyond“. *Cellulose* 16 (3): 357-59.
- Marschall, Luitgard. 2000. *Im Schatten der chemischen Synthese. Industrielle Biotechnologie in Deutschland (1900-1970)*. Frankfurt am Main, New York: Campus Verlag.
- Meadows, Donella, Dennis Meadows, Jorgen Randers und William Behrens III. 1972. *The Limits to Growth. A report of the Club of Rome's Project on the Predicaments of Mankind*. Washington: Potomac Associates.
- Meikle, Jeffrey. 1995. *American Plastic: A Cultural History*. New Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press.
- Menell, Peter. 2003. „The Municipal Solid Waste "Crisis" in Retrospect: A Success Story for Market-Based Mechanisms“. Konferenzpapier. Twenty Years of Market-Based Instruments for Environmental Protection: Has the Promise been realized?, Santa Barbara, 23.-24. August.
- Menges, G. . 1977. *Forschungsprogramm zur Wiederverwertung von Kunststoffabfällen*. Frankfurt am Main: Verband Kunststoffherstellende Industrie e.V. (VEK).
- Mergel, Thomas. 2012. *Krisen verstehen. Historische und kulturwissenschaftliche Annäherungen*. Frankfurt am Main, New York: Campus Verlag.
- Meyer, John und Richard Scott. 1983. *Organizational environments: Ritual and rationality*. Beverly Hills: Sage.
- Milstein, Brian. 2015. „Thinking politically about crisis: A pragmatist perspective“. *European Journal of Political Theory* 14 (2): 141-60.
- Moore, Gaylen. 1971. „Thor Heyerdahl's paper boat, plowing a filthy ocean“. *Life*, 24. September: 81.
- Moors, Ellen, Arie Rip und Johannes Wiskerke. 2004. „The Dynamics of Innovation: A Multilevel Co-Evolutionary Perspective“. In *Seeds of Transition. Essays on novelty production, niches and regimes in agriculture*, hrsg. von Johannes Wiskerke und Jan Douwe van der Ploeg, 31 - 56. Assen: Royal Van Gorcum.
- Morschbacker, Antonio, Carlos Eduardo Siqueira Campos, Luiz Claudio Cassiano, Luiza Roza, Fernando Almada und Roberto Werneck do Carmo. 2014. „Bio-polyethylene“. In *Handbook of Green Materials: Biobased composite materials, their processing properties and industrial applications*, 4, 89-104. Singapur: World Scientific.
- Münnich, Sascha. 2017. „Netzwerke, Felder und die wirtschaftssoziologische „Neoklassik““. In *Handbuch der Wirtschaftssoziologie*, hrsg. von Andrea Maurer, 107-25. Wiesbaden: Springer VS.
- Mützel, Sophie. 2009. „Geschichten als Signale: Zur diskursiven Konstruktion von Märkten“. In *Diskurs und Ökonomie: Diskursanalytische Perspektiven auf Märkte und Organisationen*, hrsg. von Rainer Diaz-Bone und Gertraude Krell, 225-44. Wiesbaden: Springer VS.
- . 2010. „Koordinierung von Märkten durch narrativen Wettbewerb“. In *Wirtschaftssoziologie* hrsg. von Jens Beckert und Christoph Deutschmann, Bd. Sonderheft 49 von *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 87-106. Wiesbaden: Springer VS.
- Narayan, Ramani. 1998. „Commercializing Technology. From Laboratory to the Marketplace. A Case Study of Starch-Based Biodegradable Plastics Technology“. In *Paradigm for*

- Successful Utilization of Renewable Resources*, hrsg. von David Sessa und Julious Willett, 78-87. Champaign: AOCSS Press.
- . 2011. „Carbon footprint of bioplastics using biocarbon content analysis and life-cycle assessment“. *MRS Bulletin* 36 (9): 716-21.
- Narocon Innovation Consulting. 2003. Modellprojekt Kassel. Informationen über das weltweit einmalige Modellprojekt rund um die Vermarktung und Verwertung von kompostierbaren Verpackungen aus biologisch abbaubaren Werkstoffen.
- Navis, Chad und Mary Ann Glynn. 2010. „How new market categories emerge: Temporal dynamics of legitimacy, identity, and entrepreneurship in satellite radio, 1990–2005“. *Administrative Science Quarterly* 55 (3): 439-71.
- Neidhardt, Rolf. 1994. „Nur in wenigen Fällen ökologisch vertretbar“. In *Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen*, hrsg. von Karin Westermann, 519-22. Würzburg: Vogel Buchverlag.
- Nenonen, Suvi, Hans Kjellberg, Jaqueline Pels, Lilliemay Cheung, Sara Lindeman, Cristina Mele, Laszlo Sajtos und Kaj Storbacka. 2014. „A new perspective on market dynamics: Market plasticity and the stability–fluidity dialectics“. *Marketing Theory* 14 (3): 269-89.
- Nessel, Sebastian. 2016. *Verbraucherorganisationen und Märkte. Eine wirtschaftssoziologische Untersuchung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Niedersächsisches Umweltministerium. 1999. *Kunststoffindustrie in Niedersachsen am Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung. Endbericht des Arbeitskreises 2. "Biologisch abbaubare Kunststoffe"*.
- Nixon, Richard. 1970. „Special Message to the Congress on Environmental Quality“. *The New York Times*, 11. Februar: 32.
- Nungesser, Frithjof und Andreas Pettenkofer. 2018. „Soziologie“. In *Handbuch Pragmatismus*, hrsg. von Michael Festl, 193-99. Wiesbaden: J.B. Metzler.
- o.A. 1955. „Throwaway Living. Disposable Items Cut Down Household Chores“. *Life*, 1. August: 43-44.
- . 1963a. „Bacteria Produce Polyester Thermoplastic“. *Chemical & Engineering News*, Nr. 11: 40-41.
- . 1963b. „Bacteria to make Packaging Film?“. *New Scientist*, 25. Juli: 190.
- . 1969. „Threat from plastics“. *The Times*, 10. September: 16.
- . 1970a. „And End to Plastic Pollution?“. *Marine Pollution Bulletin*, Nr. 9: 130.
- . 1970b. „Morgen kam gestern“. *Der Spiegel*, 5. Oktober: 74-96.
- . 1971a. „Mehr Freiheit, mehr Konservendosen“. *Der Spiegel*, 29. November: 62-78.
- . 1971b. „Oil hazard scientists open microbe war on plastics“. *Industrial Management*, Nr. 5: 30-38.
- . 1971c. „Wanted: magic formula to make plastics vanish“. *Chemical Week*, 8. Dezember: 45-49.
- . 1973. „How critical is the energy crisis?“. *Modern Plastics*, Februar: 20.
- . 1974a. „More feedstocks? Resources are there; economical access is the problem“. *Modern Plastics International*, Juni: 32-34.
- . 1974b. „Naturally degradable plastic“. *Marine Pollution Bulletin*, Nr. 3: 35.
- . 1974c. „Sind natürlich abbaubare Kunststoffe wünschenswert?“. *Schweizer Verband für Wohnungswesen*, 1. Dezember.
- . 1974d. „Trouble Ahead“. *Modern Plastics International*, Januar: 28.
- . 1974e. „Will there be resin? When? How much?“. *Modern Plastics International*, Januar: Cover.

- . 1975a. „ACS explores renewable resources als alternative for plastics feedstocks“. *Modern Plastics*, Juni: 82-84.
- . 1975b. „Ecoplastics for your groceries“. *New Scientist*, 7. August: 325.
- . 1975c. „Europe's plastic industry - and machinery market - will defy oil shortages“. *Modern Plastics International*, September: 102.
- . 1976a. „Commoner's new book blames plastics for more than environmental ills“. *Modern Plastics International*, August: 43.
- . 1976b. „Self-destruct plastics ready for market“. *Chemical Week*, 7. April: 35.
- . 1976c. „Why degradables are finding acceptance...and where“. *Modern Plastics International*, Dezember: 18-20.
- . 1978. „Living in twilight of the petroleum age“. *Chemical Week*, 19. Juli: 40.
- . 1979a. „The fact is this: Plastics save more energy than they consume“. *Modern Plastics International*, Juli: 27.
- . 1979b. „Resin price rise fail to knock plastics off competitive perch“. *Modern Plastics International*, Oktober: 13-14.
- . 1980a. „Editorial. Entering the 80s: the bad news and the good news“. *Modern Plastics International*, Februar: 5.
- . 1980b. „How will rising feedstock prices affect plastic's competitive role?“. *Modern Plastics International*, Januar: 4.
- . 1984. „Coming: Commodities from biomass“. *Chemical Week*, 4. April: 36f.
- . 1985a. „Italy wants biodegradable plastic bags by 1991“. *Chemical Week*, 16. Januar: 17.
- . 1985b. „The Plastic Pollution Fight“. *The New York Times*, 16. Mai: 2.
- . 1988a. „City specifies biodegradable bags for trash collection“. *Modern Plastics International*, Dezember: 19.
- . 1988b. „Degradable Plastics are Here to Stay“. *Chemical Week*, Oktober: 42-43.
- . 1989a. „Bill urges U.S. to buy more degradable plastic“. *St. Louis Post-Dispatch*, 26. Januar: 71.
- . 1989b. „Degradables“. *Modern Plastics International*, Oktober: 171-74.
- . 1989c. „Degradables Flourish Despite Critics“. *Chemical Week*, 20. Dezember, 26.
- . 1989d. „In the race for the 'greenest' plastics, here are biopolymers“. *Modern Plastics International*, September: 7-8.
- . 1989e. „One third of Europe's plastic bags could be biodegradable by 1992“. *Modern Plastics International*, November: 115.
- . 1989f. „While industry debates degradability, bagmakers convert their product lines“. *Modern Plastics International*, Oktober: 30-32.
- . 1990a. „Degradable Plastics Get Trashed“. *Chemical Week*, 14. März: 63.
- . 1990b. „Degradable resin is 100% starch-based“. *Modern Plastics International*, April: 25-26.
- . 1990c. „Industry opinion harden in degradable plastics issue“. *Modern Plastics International*, April: 10-16.
- . 1992a. „Degradable Plastics Rising“. *Chemical Week*, 5. Februar: 45.
- . 1992b. „Markt für abbaubare Kunststoffe wird explosionsartig wachsen“. *Kunststoffe*, Nr. 4: 268.
- Oberbacher, Bonifaz. 1974. *Abbaubare Kunststoffe und Müllprobleme. Beiträge zur Umweltgestaltung*. Hrsg. von Bundesministerium für Forschung und Technologie. Berlin: Battelle-Institut.
- Office of Technology Assessment. 1989. *Facing America's Trash: What Next for Municipal Solid Waste*. Washington.

- Onyas, Winfred Ikiring und Annmarie Ryan. 2015. „Agencing markets: Actualizing ongoing market innovation“. *Industrial Marketing Management* 44: 13-21.
- Otey, Felix. 1976. „Current and Potential Uses of Starch Products in Plastics“. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 7 (2): 221-34.
- Otey, Felix, R. Westhoff und C. Mehlretter. 1972. „Reactivity of Modified Starches with Isocyanates“. *Die Stärke* 24 (4): 107-10.
- Overdeest, Christine. 2011. „Towards a more pragmatic sociology of markets“. *Theory and Society* 40 (5): 533-52.
- Padgett, John und Walter Powell. 2012. „The Problem of Emergence“. In *The Emergence of Organizations and Markets*, hrsg. von John Padgett und Walter Powell, 1-29. Princeton: Princeton University Press.
- Parr, Jan. 1987. „Degradable polymers?“. *Forbes*, 5. Oktober 1987: 206.
- Patel, M., I. Bartle, C. Bastioli, K. Doutlik, J. Ehrenberg, D. Johansson, H. Käß, J. Klumpers, R. Luther und D. Wittmeyer. 2002. „Towards the integration of renewable raw materials in EU climate policy. Part 1“. *Agro Food Industry Hi-Tech* 13 (6): 28-31.
- . 2003. „Towards the integration of renewable raw materials in EU climate policy. Part 2“. *Agro Food Industry Hi-Tech* 14 (1): 52-56.
- Peoples, Oliver und Anthony Sinskey. 1989. „Poly-beta-hydroxybutyrate (PHB) biosynthesis in *Alcaligenes eutrophus* H16. Identification and characterization of the PHB polymerase gene (phbC)“. *Journal of Biological Chemistry* 264 (26): 15298-303.
- Pilpel, Neiton. 1975. „Sunshine on Waste“. *The Ecologist* 5 (3): 98-101.
- Pinch, Trevor, Thomas Hughes und Wiebe Bijker. 1987. *The Social Construction of Technological Systems*. Cambridge: MIT Press.
- Plastics Recyclers Europe. 2018. Biodegradable Plastics. Abgerufen: 10. September, <https://www.plasticsrecyclers.eu/biodegradable-plastics>.
- Pool, Robert. 1989. „In search of the plastic potato“. *Science* 245 (4923): 1187-90.
- Portnoy, Kristine. 1987. „From cornstarch, a biodegradable film“. *Chemical Week*, 27. Mai: 36.
- Powell, Walter und Stine Grodal. 2005. „Networks of Innovators“. In *The Oxford Handbook of Innovation*, hrsg. von Jan Fagerberg und David Mowery, 65-85. Oxford: Oxford University Press.
- PR Newswire. 1991. „DuPont/ConAgra Developing Degradable Polymers“, Pressemitteilung, 12. Juni.
- . 1993. „Cargill will build facility to make biodegradable plastics“, Pressemitteilung, 19. Mai.
- . 1997. „Cargill Dow Polymers to Develop New Biopolymer Technology“, Pressemitteilung, 25. November.
- Priest, Tyler. 2014. „Hubbert’s Peak“. *The Great Debate over the End of Oil* 44 (1): 37-79.
- Prioleau, R. 1974. „Decision makers weigh the future of the plastics industry“. *Plastics Engineering*: 30-38.
- Prisching, Manfred. 1986. *Krisen. Eine soziologische Untersuchung*. Wien, Köln, Graz: Böhlau.
- Pryde, E., L. Gast, E. Frankel und K. Carlson. 1976. „Vegetable Oils and Animal Fats as Renewable Resources for Plastics and Coatings Applications“. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 7 (1): 1-26.
- Racey, G., W. Wallace, C. Cavalaris und J. Marguard. 1978. „Comparison of a polyglycolic-polylactic acid suture to black silk and plain catgut in human oral tissues“. *Journal of Oral Surgery* 36 (10): 766-70.
- Radkau, Joachim. 2011. *Die Ära der Ökologie*. München: C.H. Beck.
- Reimer, Hans. 1971. *Müllplanet Erde*. Hamburg: Hoffmann und Campe.

- Reinhardt, Guido und Jürgen Giegrich. 1998. „Zur Ökobilanz von bioabbaubaren Werkstoffen“. In *20 Jahre ifeu-Institut. Engagement für die Umwelt zwischen Wissenschaft und Politik*, hrsg. von Institut für Energie- und Umweltforschung, 383-92. Braunschweig, Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn.
- Reske, Jöran. 1998. „Umsetzung der Innovation "Biologisch abbaubare Werkstoffe": Qualitätssicherung, Entsorgung, Öffentlichkeitsarbeit“. Konferenzpapier. Gülzower Fachgespräche. Nachwachsende Rohstoffe - Von der Forschung zum Markt, Güstrow, 25.-26. Mai.
- Reuter, André und Michael Zacharias. 1991. *Verpackungen. Mehr als Müll? 1. Internationaler Umweltkongress*. Darmstadt: Dr. Jürgen Schneider Stiftung.
- Rewe. 2019. Rewe schafft die Plastiktüte ab. Abgerufen: 8. September 2019, <https://www.rewe.de/nachhaltigkeit/unsere-ziele/projekte/abschaffung-plastiktueete/>.
- Rexen, Finn und Lars Munck. 1984. *Cereal Crops for Industrial Use in Europe*. The Commission of the European Communities. Carlsberg Research Laboratory.
- Richter, Felix, Jörg Siepenkothen, Jana Wagner, Thomas Raussen und Michael Kern. 2016. „Nahrungs- und Küchenabfälle effizient erfassen und stofflich-energetisch verwerten“. *Müll und Abfall* 10: 530-37.
- Rodriguez, Ferdinand. 1971. „Prospects for biodegradable plastics“. *Modern Plastics*, September: 92-94.
- Rohde, Carsten. 2015. „Plastic Fantastic. Stichwörter zur Ästhetik des Kunststoff“. In *Ästhetik der Materialität*, hrsg. von Carsten Rohde und Christiane Heibach, 123-43. Paderborn: Wilhelm Fink Verlag.
- Rosa, José Antonio, Joseph Porac, Jelena Runser-Spanjol und Michael Saxon. 1999. „Sociocognitive Dynamics in a Product Market“. *Journal of Marketing* 63: 64-77.
- Rosamond, Ben. 2002. „Imagining the European economy: 'competitiveness' and the social construction of 'Europe' as an economic space“. *New political economy* 7 (2): 157-77.
- Rossmann. 2012. Neue umweltfreundliche Tragetaschen. Abgerufen: 9. September 2019, <https://www.rossmann.de/unternehmen/presse/pressemeldungen/120323-Rohrzucker-statt-Oel/>.
- Russel, Charles. 1976. „Corn Starch: Present and Potential Uses in Industry“. *Corn Annual*: 26-29.
- Sarkanen, Kyosti. 1976. „Renewable Resources for the Production of Fuels and Chemicals“. *Science* 191 (4228): 773-76.
- Schäfers, Bernhard. 2018. „Krise“. In *Grundbegriffe der Soziologie*, hrsg. von Johannes Kopp und Anja Steinbach, 245-47. Wiesbaden: Springer VS.
- Schenkel, Werner. 1977. „Gewinnung von Rohstoffen aus Müll“. *Chemie Ingenieur Technik* 49 (12): 966-69.
- . 1991. „Umschließen, Ausschließen, Verschließen - Verpacken“. In *Verpackung. Mehr als Müll? Tagungsband zum "1. Internationalen Umweltkongress" der Jürgen Schneider Stiftung*, hrsg. von André Reuter und Michael Zacharias, 67-76. Darmstadt.
- Schiller-Merkens, Simone. 2013. „Framing moral markets: The cultural legacy of social movements in an emerging market category“. 13 (8).
- Schmidt-Bachem, Heinz. 2011. *Aus Papier: Eine Kultur- und Wirtschaftsgeschichte der Papier verarbeitenden Industrie in Deutschland*. Berlin, Boston: De Gruyter Saur.
- Schneider, Allan. 1955. Polymers of high melting lactide. hrsg. von United States Patent Office. USA: E. I. du Pont de Nemours and Co.
- Schneider, Micheal, Siegfried Kreibe und Gerhard Ilg. 2007. „Zeitlandschaften. Zeiten der Natur, Wirtschaft und Gesellschaft“. In *Zeitstrategien in Innovationsprozessen. Neue Konzepte*

- einer nachhaltigen Mobilität., hrsg. von Kurt Weis, 23-74. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Schumpeter, Joseph. 1912. *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Leipzig: Duncker & Humblot.
- . 1942. *Capitalism, Socialism and Democracy*. New York: Harper and Brothers.
- . (1934) 1987. *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Eine Untersuchung über Unternehmervergewinn, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus*. Berlin: Duncker und Humblot.
- Schut, Jan. 2008. What's Ahead for 'Green' Plastics: Look for More Supply, More Varieties, Better Properties. *Plastics Technology*. Abgerufen: 1. Oktober 2019, <https://www.ptonline.com/articles/what%27s-ahead-for-%27green%27-plastics-look-for-more-supply-more-varieties-better-properties>.
- Schwartz, Adelheid. 1963. *Mikrobielle Korrosion von Kunststoffen und ihren Bestandteilen*. Berlin: Akademie Verlag.
- Scott, Gerald. 1972. „Plastics Packaging and Coastal Pollution“. *International Journal of Environmental Studies* 3: 35-36.
- . 1973a. „Delayed Action Photo-Activator for the Degradation of Packaging Polymers“. In *Polymers and Ecological Problems*, hrsg. von James Guillet, 27-44. New York, London: Plenum Press.
- . 1973b. „Improving the Environment: Chemistry and Plastics Waste“. *Chemistry in Britain* 9 (6): 267-72.
- . 1974. „Packaging and the 'Throw-Away' Society“. *Journal of the Royal Society of Arts* 122 (5212): 188-202.
- Scott, W. Richard. 1995. *Institutions and Organizations*. Thousand Oaks: SAGE.
- Seefried, Elke. 2015. „Rethinking Progress. On the Origin of the Modern Sustainability Discourse, 1970–2000“. *Journal of Modern European History* 13 (3): 377-400.
- Seifert, Daniel. 2011. „Die Geburtsstunde des Grünen Punktes“. *der moderne staat. Zeitschrift für Public Policy, Recht und Management* (1): 87-106.
- Selmayr, Willy. 1985. „Duroplaste - was sie sind und wie sie sind“. In *Kunststoffe - ein Werkstoff macht Karriere*, hrsg. von W. Glenz, 53-64. München: Carl Hanser Verlag.
- Senior, Peter. 1972. „The Regulation of Carbohydrate Metabolism and the Significance of Poly-[beta]-hydroxybutyrate Biosynthesis in *Azotobacter Beijerinckii*“. University of Hull (NCIB 9067).
- . 1984. „Polyhydroxybutyrate, a speciality polymer of microbial origin“. In *Continuous Culture. Biotechnology, Medicine and the Environment*, hrsg. von A. Dean, D. Ellwood und C. Evans. Chichester: Ellis Horwood.
- Senior, Peter und J. Windass. 1980. „The ICI single cell protein process“. *Biotechnology Letters* 2 (5): 205-10.
- Servan-Schreiber, Jean-Jaques. 1968. *The American Challenge*. New York: Atheneum.
- Shackle, George. 1969. *Decision, Order and Time*. Cambridge: Cambridge University Press.
- . (1972) 2009. *Epistemics and Economics. A Critique of Economic Doctrines*. New Brunswick: Transaction Publishers.
- Shapiro, Irving. 1978. „Future Sources of Organic Raw Materials“. *Science* 202 (4365): 287-89.
- Shen, Li, Ernst Worrell und Martin Patel. 2010. „Present and future development in plastics from biomass“. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 4 (1): 25-40.
- Sheppard, William und Edward Lipinsky. 1983. „Chemicals from Biomass“. In *Biomass Utilization*, hrsg. von Wilfred Côté, 635-58. Boston: Springer.
- Sherwood, Martin. 1983. „Reports from Biotech '83“. *Nature Bio/Technology* 1 (5): 388-89.

- . 1984. „The Case of the Money-Hungry Microbe“. *Nature Bio/Technology* 2 (7): 606-09.
- Shiller, Robert. 2017. „Narrative economics“. *American Economic Review* 107 (4): 967-1004.
- Sinclair, Richard. 1973. „Slow-release pesticide system. Polymers of lactic and glycolic acids as ecologically beneficial, cost-effective encapsulating materials“. *Environmental Science & Technology* 7 (10): 955-56.
- . 1977. Copolymers of L-(-)-lactide and epsilon caprolactone. hrsg. von United States Patent Office. USA: Gulf Oil Corporation.
- Sinclair, Richard, Thomas Steadman, Melville Hillman und Edward Lipinsky. 1974. „Round-table Discussion. Plastics without Petroleum“. In *New Industrial Polymers*, hrsg. von Rudolph Deanin, 106-07. Washington: American Chemical Society.
- Solomon, Barry, Justin Barnes und Kathleen Halvorsen. 2007. „Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy“. *Biomass and Bioenergy* 31 (6): 416-25.
- Spelman, Caroline. 1991. „Plenary paper 2: Assessing the future importance of industrial markets for agricultural products“. *European Review of Agricultural Economics* 18 (3-4): 365–80.
- Spillman, Lyn. 1999. „Enriching exchange: Cultural dimensions of markets“. *American Journal of Economics and Sociology* 58 (4): 1047-71.
- Spitz, Peter. 1988. *Petrochemicals. The Rise of an Industry*. New York: John Wiley and Sons.
- Sprow, Eugene. 1973. „Degradable Plastics...the promise and the problems“. *Machine Design* 45 (13): 76-80.
- St. Pierre, L. und G. Brown. 1978. „Future Sources of Organic Raw Materials“. Chemrawn I, Toronto, 10.-13. Juli.
- Stark, David. 2009. *The Sense of Dissonance. Accounts of Worth in Economic Life*. Princeton: Princeton University Press.
- Statista. 2019a. Average annual OPEC crude oil price from 1960 to 2019 (in U.S. dollars per barrel). Abgerufen: 10. September 2019, <https://www.statista.com/statistics/262858/change-in-opec-crude-oil-prices-since-1960/>.
- . 2019b. Weltweite und europäische Produktionsmenge von Kunststoff in den Jahren von 1950 bis 2017 (in Millionen Tonnen). Abgerufen: 8. September 2019, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167099/umfrage/weltproduktion-von-kunststoff-seit-1950/>.
- Staudinger, J. 1970. *Disposal of Plastics Waste and Litter*. Hrsg. von G. Gregory. London: Society of the Chemical Industry.
- Steuteville, Robert. 1993. „A New Generation. Biodegradable Polymers Forge Ahead.“. *BioCycle* 34 (9): 72-74.
- Stokes, Raymond, Roman Köster und Stephen Sambrook. 2013. *The Business of Waste. Great Britain and Germany, 1945 to the Present*. New York: Cambridge University Press.
- Suckert, Lisa. 2015. *Die Dynamik ökologischer Märkte. Eine feldanalytische Betrachtung des Marktes für Bio-Molkereiprodukte*. München: UVK Verlagsgesellschaft.
- Surfrider Foundation Europe, Friends of the Earth Europe, Zero Waste Europe, Ecos, EBEE und European Environmental Bureau. 2017. Joint position paper. Bioplastics in a Circular Economy: The need to focus on waste reduction and prevention to avoid false solutions. Abgerufen: 29. September 2019, https://ecostandard.org/wp-content/uploads/Joint-position-paper_Bioplastics-in-a-Circular-Economy_Jan-2017.pdf.
- Suzuki, Shuko und Yoshito Ikada. 2010. „Medical Applications“. In *Poly(lactic Acid). Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications*, hrsg. von Raafael Auras, Loong-Tak Kim, Susan Selke und Hideto Tsuji, 445-67. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Swedberg, Richard. 2003. *Principles of Economic Sociology*. Princeton: Princeton University Press.

- Symon, Penny. 1972. „Pollution experts say mankind is doomed unless industry changes its values“. *The Times*, 28. Juni: 2.
- Taylor, Lynn. 1979. „Degradable Plastics: Solution or Illusion?“. *Chemtech*, Nr. 9: 542-48.
- Thayer, Ann. 1990. „Degradable Plastics Generate Controversy in Solid Waste Issues“. *Chemical and Engineering News*, 25. Juni: 7-14.
- The Coca Cola Company. 2009. „Coca-Cola Introduces Bottle Made from Renewable, Plant-Based, Recyclable Plastic“. *Bioplastic Magazine*, Nr. 3: 5.
- . 2014. Die Flasche der Zukunft. Abgerufen: 7. August 2019, <http://www.plantbottle.info/chde/geschichte/geschichte.shtml>.
- The Society of the Plastics Industry. 1987. *Degradable Plastics. Proceedings of the SPI Symposium on Degradable Plastics*. Washington.
- Thévenot, Laurent, Micheal Moody und Claudette Lafaye. 2000. „Forms of valuing nature: arguments and modes of justification in French and American environmental disputes“. In *Rethinking Comparative Cultural Sociology. Repertoires of Evaluation in France and the United States*, hrsg. von Michèle Lamont und Laurent Thévenot, 229-72. Cambridge: Cambridge University Press.
- Thielen, Michael. 2009. „Coca-Cola Biobottle Uses Biobased Ethylene Glycol“. *Bioplastic Magazine*, Nr. 4: 14-15.
- . 2011a. „Avantium Announces Start-Up of YXY Pilot Plant“. *Bioplastic Magazine*, Nr. 3: 7.
- . 2011b. „Reshaping an Industry“. *Bioplastic Magazine*, Nr. 1: 8.
- . 2012. „Coca-Cola signed agreements to develop 100% plant based bottles“. *Bioplastic Magazine*, Nr. 1: 8.
- . 2014. „Avantium raises € 36 Mio Investment“. *Bioplastic Magazine*, Nr. 4: 22.
- . 2016a. „Avantium and BASF: JV to make PEF“. *Bioplastic Magazine*, Nr. 2: 6.
- . 2016b. „A new, cost-effective route to PEF“. *Bioplastic Magazine*, Nr. 4: 17.
- Timmermeister, Markus. 1998. „Entstehung und Gestaltung eines neuen Politikfelds: die Abfallpolitik in der Bundesrepublik Deutschland in den neunziger Jahren“. Institut für Wissenschafts- und Technikforschung, Universität Bielefeld.
- Tong, Xinli, Yang Ma und Yongdan Li. 2010. „Biomass into chemicals: conversion of sugars to furan derivatives by catalytic processes“. *Applied Catalysis A: General* 385 (1-2): 1-13.
- Tonuk, Damla. 2016. „Making Bioplastics: An Investigation of Material-Product Relationships“. Department of Sociology, Lancaster University.
- Tschachler, Heinz. 1984. „Despotic Reason in Arcadia. Ernest Callenbach's ecological utopia“. *Science Fiction* 11 (3): 304-17.
- Tschimmel, Udo. 1989. *Die Zehntausend-Dollar-Idee. Kunststoff-Geschichte vom Zelluloid zum Superchip*. Düsseldorf, Wien, New York: Econ Verlag.
- Umweltbundesamt. 2012. „Biokunststoffe nicht besser. Verpackungen aus bioabbaubaren Kunststoffen sind denen aus herkömmlichen Kunststoffen nicht überlegen“, Pressemitteilung, 8. Oktober. Dessau-Roßlau.
- . 2013. Wird es in Zukunft Biokunststoffe geben, die umweltfreundlicher sind als herkömmliche Kunststoffe? Abgerufen: 10. September 2019, <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wird-es-in-zukunft-biokunststoffe-geben-die>.
- . 2018. Kunststoffe. Abgerufen: 21. Juni 2019, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/kunststoffe>.

- US Congress. 1969. National Commission on Materials Policy. In *Congressional Record. Proceedings and Debates of the 91st Congress. First Session. Senate. October 28*. Washington: United States Government Printing Office.
- . 1970a. The Environment - Here is what to do. Hon. Jerome Waldie of California. In *Congressional Record. Proceedings and Debates of the 91st Congress. Second Session. Extension of Remarks. June 8*. Washington: United States Government Publishing Office.
- . 1970b. Introduction of the Packaging Pollution Control Act of 1970. In *Congressional Record. Proceedings and Debates of the 91st Congress. Second Session. Senate. April 1*. Washington: United States Government Printing Office.
- . 1970c. Senate Joint Resolution 169 - Introduction of a Joint Resolution Relating to an Environmental Agenda for the 1970s. In *Congressional Record. Proceedings and Debates of the 91st Congress. Second Session. Senate. January 19*. Washington: United States Government Printing Office.
- . 1972. A Time for Concern. Hon. Alan Cranston of California. In *Congressional Record. Proceedings and Debates of the 92nd Congress. Second Session. Extension of Remarks. March 30*. Washington: United States Government Printing Office.
- . 1993. Biopolymers: Making Materials Nature's Way. Background Paper. Washington.
- US Senate. 1989. Degradable Commodity Plastics Procurement and Standards Act of 1989. In *Committee on Governmental Affairs*. Washington: United States Government Printing Office.
- Van de Ven, Andrew, Douglas Polley, Raghu Garud und Sankaran Venkataraman. 1999. *The Innovation Journey*. New York: Oxford University Press.
- van Lente, Harro. 1993. „Promising Technology. The Dynamics of Expectations in Technological Development“. Universiteit Twente.
- . 2012. „Navigating foresight in a sea of expectations: lessons from the sociology of expectations“. *Technology Analysis & Strategic Management* 24 (8): 769-82.
- van Lente, Harro und Sjoerd Bakker. 2010. „Competing expectations: the case of hydrogen storage technologies“. *Technology Analysis & Strategic Management* 22 (6): 693-709.
- van Lente, Harro und Arie Rip. 1998. „Expectations in Technological Developments: An Example of Prospective Structures to be Filled in by Agency“. In *Getting New Technologies Together*, hrsg. von Cornelis Disco und Barend van der Meulen, 203-31. Berlin, New York: de Gruyter.
- Vanberg, Viktor. 2005. „Der Markt als kreativer Prozess: die Ökonomik ist keine zweite Physik“. *Freiburger Diskussionspapiere zur Ordnungsökonomik* (12).
- Vargo, Stephen, Heiko Wieland und Melissa Archpru Akaka. 2015. „Innovation through institutionalization: A service ecosystems perspective“. *Industrial Marketing Management* 44: 63-72.
- Vedres, Balazs und David Stark. 2010. „Structural folds: Generative disruption in overlapping groups“. *American Journal of Sociology* 115 (4): 1150-90.
- Venrick, Elizabeth, T. Backman, W. Bartram, C. Platt, M. Thornhill und R. Yates. 1973. „Man-made Objects on the Surface of the Central North Pacific Ocean“. *Nature* 241: 271.
- Verband Humus- und Erdenwirtschaft. 2014. Position zur Verwertung von biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW) einschließlich BAW-Sammeltüten über die Biotonne vom 26. Februar. Abgerufen: 14. September 2019, https://www.vhe.de/fileadmin/vhe/pdfs/Publikationen/Standpunkte/VHE_Stn_BAW_2014_b.pdf.
- Vert, M., G. Schwarch und J. Coudane. 1995. „Present and Future of PLA Polymers“. *Journal of Macromolecular Science, Part A* 32 (4): 787-96.

- Vink, Erwin und Steve Davies. 2015. „Life Cycle Inventory and Impact Assessment Data for 2014 Ingeo Polylactide Production“. *Industrial Biotechnology* 11 (3): 167-80.
- Wallen, Lowell und William Rohwedder. 1974. „Poly- β -hydroxyalkanoate from activated sludge“. *Environmental science & technology* 8 (6): 576-79.
- Washington Center for Metropolitan Studies. 1976. „A Conference on Capturing the Sun through Bioconversion“. Washington, 10.-12. März.
- Waskow, Frank. 1994. „Katalyse Köln: Konventionelle Verpackungen“. In *Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen*, hrsg. von Karin Westermann, 515-18. Würzburg: Vogel Buchverlag.
- Wehrenberg, Robert. 1981. „Lactic acid polymers: strong, degradable thermoplastics“. *Materials Engineering*, Nr. 3: 63-66.
- Weismantel, Guy. 1975. „Can Natural Oils Feed the Plastics Industry?“. *Chemical Engineering*, Nr. 3: 78-80.
- Weißler, Sabine und Fecht Tom. 1985. *Plastikwelten*. Berlin: Elefant-Press.
- Werber, Frank und James Baptist. 1964. „Poly- β -hydroxybutyric acid - a naturally occurring thermoplastic material“. *Polymer Engineering & Science* 4 (4): 245-50.
- Werpy, T. und G. Petersen. 2004. Top Value Added Chemicals from Biomass Volume I - Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas. hrsg. von U.S. Department of Energy.
- Wessel, Carl. 1964. „Biodeterioration of Plastics“. *SPE Transactions*, Nr. 3, Juli: 193-207.
- Weßling, B. 1990. „Kunststoffe in der Umwelt. Problem oder Problemlöser?“. *Kunststoffe*, Nr. 4: 463-69.
- Westermann, Andrea. 2007. *Plastik und politische Kultur in Westdeutschland*. Zürich: Chronos Verlag.
- . 2013. „When Consumer Citizens Spoke Up: West Germany's Early Dealings with Plastic Waste“. *Contemporary European History* 22 (3): 477-98.
- Westermann, Karin. 1994. *Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen*. Würzburg: Vogel Buchverlag.
- White, Harrison. 1981. „Where Do Markets Come From?“. *American Journal of Sociology* 87 (3): 517-47.
- . 2000. „Modelling discourse in and around markets“. *Poetics* 27: 117-33.
- White, Laurence. 1973. „Wither Degradable Plastics?“. *Chemical Engineering*, 15. Oktober: 68-70.
- Wiemker, Henrike. 2016. Bioplastik: Besser als sein Ruf? *Süddeutsche.de*. Abgerufen: 8. September 2019, <https://www.sueddeutsche.de/wissen/nachhaltigkeit-viel-plastik-wenig-bio-1.3271043>.
- Wilder, Robert. 1989. „'Disappearing' package: pipe dream or savior?“. *Modern Plastics International*, September: 74-77.
- Williams, Simon und Oliver Peoples. 1996. „Biodegradable Plastics from plants“. *Chemtech*, September: 38-44.
- Winton, John und Peter Hoffmann. 1985. „A versatile polymer's delayed debut“. *Chemical Week*, 28. August: 55.
- Wishart, Ronald. 1978. „Industrial Energy in Transition: A Petrochemical Perspective“. *Science* 199 (4329): 614-18.
- Wolf, Oliver, Manuela Crank, Martin Patel, Frank Marschneider-Weidemann, Joachim Schleich, Bärbel Hüsing und Gerhard Angerer. 2005. *Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe*. Europäische Kommission. Gemeinsame Forschungsstelle.

- Wollstadt, Harald und Etwina Gander. 2016. Expertengespräch Bioabbaubare Kunststoffe versus Recycling, Teil 1. Skepsis überwinden. *Plastverarbeiter*. Abgerufen: 8. September 2019, <https://www.plastverarbeiter.de/58499/skepsis-ueberwinden/>.
- Wood, Andrew und Alex Scott. 1998. „Breaking into the Big Time“. *Chemical Week*, 10. Juni: 24.
- Yarsley, Victor und Edward Couzens. 1941. *Plastics*. Harmondsworth: Pelican Publisher.
- Yates, Madeleine und Claire Barlow. 2013. „Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers - A critical review“. *Resources, Conservation and Recycling* 78: 54-66.
- Yin, Robert. 1984. *Case Study Research. Design and Methods*. Sage. Beverly Hills, London, New Delhi.
- Yuen, Shokichi. 1974. „Development of Pullulan: Its Characteristics and Applications“. In *New Industrial Polymers*, hrsg. von Rudolph Deanin, 172-75. Washington: American Chemical Society.
- Zelizer, Viviana. 1979. *Morals and markets: the development of life insurance in the United States*. New York: Columbia University Press.
- . 1988. „Beyond the polemics on the market: Establishing a theoretical and empirical agenda“. *Sociological Forum* 3 (4): 614-34.
- . 2011. „Introduction. The Lives behind Economic Live“. In *Economic Lives. How Culture Shapes the Economy*, hrsg. von Viviana Zelizer, 1-18. Princeton, Oxford: Princeton University Press.
- Zuckerman, Ezra. 1999. „The categorical imperative: Securities analysts and the illegitimacy discount“. *American Journal of Sociology* 104 (5): 1398-438.
- Zukin, Sharon und Paul DiMaggio. 1990. „Introduction“. In *Structures of capital: the social organization of the economy*, hrsg. von Sharon Zukin und Paul DiMaggio, 1-36. Cambridge: Cambridge University Press.

Abbildungen

- Abb. 1:** **Biokunststoffe sortiert nach Produkteigenschaften, S. 5**
<https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>, Abgerufen am: 30.9.2019.
- Abb. 2:** **Anzeige „Throwaway Living“, S. 70**
Life Magazine 1955. Throwaway Living. Disposable Items Cut Down Household Chores. 1. August, S. 43.
- Abb. 3:** **Google-Suche nach „Plastikmüll“, S. 75**
www.google.de
- Abb. 4:** **Forschungsarbeiten zum fotochemischen Abbau von Kunststoffen, 1974, S. 89**
Plastics and Polymers 1974. Degradability of Polymers and Plastics. April, S. 54.
- Abb. 5:** **Cover Modern Plastics International, Januar 1974, S. 109**
Modern Plastics International. 1974. Januar, Coverseite.
- Abb. 6:** **Henry Ford schlägt mit einer Axt auf eine Motorhaube aus Sojabohnen-Kunststoff, S. 114**
Ford Motor Company. Engineering Photographic Department. From the Collections of The Henry Ford. Gift of Ford Motor Company. Objektnummer: 84.1.1660.P.188.28273.
- Abb. 7:** **PHB-Granulat in den Zellen des Bakteriums Alcaligenes Eutrophus, S. 145**
Financial Times 1982. Plastics from Bacteria. 15. November, S. 9.
- Abb. 8:** **Karikatur in Science, 1989, S. 156**
Science 1989. In Search of the Plastic Potato. Jg. 245, Nr. 4923, S. 1189.
- Abb. 9:** **Anzahl der Veröffentlichungen zu PLA im Web of Science, S. 165**
Eigene Darstellung, basierend auf einer Stichwortsuche im Web of Science für den Zeitraum 1900 und 2000. Suchbegriffe: „polylactide“ OR „poly(lactic acid)“ OR „polylactic acid“.
- Abb. 10:** **Hot Dogs nach 10 Jahren auf einer Mülldeponie, S. 187**
Chemical and Engineering News 1990. Degradable Plastics Generate Controversy in Solid Waste Issues. 25. Juni, S. 8.
- Abb. 11:** **Werbeanzeige „Mater-Bi“, 1990, S. 193**
Modern Plastics International 1990. November, S. 125.

Abb. 12: Kompostierbare Verpackungen, 1990er Jahre, S. 201
Wella Great Britain. Science Museum Group. Sanara shampoo bottle, being the first commercial application of Biopol. Objektnummer: 1990-519. Online. <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co9487>. Abgerufen am: 30.9.2019.

Kunststoffe 1998. Kompostierbare Joghurtbecher. Zyklus eines Joghurtbechers aus PLA. Nr. 6, S. 888.

Abb. 13: Modell des dualen Systems für kompostierbare Verpackungen, Modellprojekt Kassel, S. 205
Narocon Innovation Consulting. 2003. Modellprojekt Kassel. Informationen über das weltweit einmalige Modellprojekt rund um die Vermarktung und Verwertung von kompostierbaren Verpackungen aus biologisch abbaubaren Werkstoffen, S. 3.

Abb. 14: Produktionskapazitäten, 2007-2011, S. 247
Kunststoffe 2009. Eine logische Entwicklung. Nr. 8, S. 13.

Eidesstattliche Erklärung

"Hiermit versichere ich an Eides Statt, dass ich die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne die Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Aussagen, Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise entgeltlich/unentgeltlich (zutreffendes bitte unterstreichen) geholfen: Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Dissertation nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Dissertation wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Ich versichere, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe."