

*Tetyana Melnychuk, Lukas Galke, Eva Seidlmayer, Konrad U. Förstner,
Klaus Tochtermann & Carsten Schultz*

Früherkennung wissenschaftlicher Konvergenz im Hochschulmanagement

It is crucial for universities to recognize early signals of scientific convergence. Scientific convergence describes a dynamic pattern where the distance between different fields of knowledge shrinks over time. This knowledge space is beneficial to radical innovations and new promising research topics. Research in converging areas of knowledge can therefore allow universities to establish a leading position in the science community.

The Q-AKTIV project develops a new approach on the basis of machine learning to identify scientific convergence at an early stage. In this work, we briefly present this approach and the first results of empirical validation. We discuss the benefits of an instrument building on our approach for the strategic management of universities and other research institutes.

Durch eine intensive interdisziplinäre Forschung und Zusammenarbeit von Wissenschaftler*innen aus verschiedenen Fachbereichen können vollkommen neue Fachbereiche am Rande der bisher voneinander getrennten selbstständigen Fachbereiche entstehen. Solche neuen Fächer können sogar die bisherigen Fächer ersetzen. Der Prozess der Annäherung und Überlappung von bislang getrennten wissenschaftlichen Disziplinen oder Wissensfeldern wird als wissenschaftliche Konvergenz bezeichnet (Curran et al. 2010). Wissenschaftliche Konvergenz beruht stark auf interdisziplinärer Forschung, die sich mit komplexen Fragestellungen beschäftigt, die durch einzelne wissenschaftliche Fachbereiche nicht beantwortet werden können. Die Ergebnisse der interdisziplinären Forschung können nicht nur in der Entstehung neuer konvergierender wissenschaftlicher Disziplinen münden, sondern auch in fundamental neuen Erkenntnissen (Schilling/Green 2011) und schließlich in disruptiven Innovationen resultieren (Appio et al. 2014). In der qualitativen Studie über bahnbrechende Erfindungen im Bereich von RNAi¹, stellt Chai (2017) fest, dass die Verweigerung von Wissenschaftler*innen aus verschiedenen Fachbereichen die Ergebnisse voneinander in ihrer eigenen Forschung zu berücksichtigen oder miteinander zusammenzuarbeiten beinahe zum Ausbleiben dieser wichtigen Erfindung geführt hätte. Interdisziplinäre Forschung begünstigt die Entstehung wissenschaftlicher Konvergenz und damit radikal neuer Forschungsthemen und – auf lange Sicht – radikale bzw. disruptive Innovationen in Wirtschaft und Gesellschaft (Curran/Leker 2009). Daher ist es wichtig, die Potenziale der interdisziplinären Zusammenarbeit in der Wissenschaft möglichst früh zu erkennen, um diese gezielt fördern zu können. Durch ein frühzeitiges und intensives Befassen mit einem womöglich zukunftsweisenden Konvergenzthema kann sich eine Hochschule in diesem Bereich als führende akademische Einrichtung profi-

lieren, und dadurch die eigene Reputation steigern sowie die Chancen auf Fördermittel erhöhen.

Grundlage für die Identifikation dieses auf die Annäherung von vormals getrennten Wissenschaftsdisziplinen zurückzuführenden dynamischen Phänomens ist ein validiertes und auf mehrere Forschungsgebiete anwendbares Instrument zur Messung der inhaltlichen Distanz der thematischen Wissensgebiete. Dieses muss in der Lage sein, die Signale der wissenschaftlichen Konvergenz möglichst im frühen Stadium ihrer Entwicklung zu erkennen und das Potenzial dieser Entwicklungen einzuschätzen. Das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt Q-AKTIV verfolgt dieses Ziel.

1. Untersuchung der wissenschaftlichen Konvergenz

Trotz der Bedeutung der wissenschaftlichen Konvergenz befasst sich die bisherige Forschung hauptsächlich mit der Technologie-, Markt- oder Industriekonvergenz (Banse et al. 2007; Bröring 2010; Heo/Lee 2019; Sick et al. 2019). Diese Arten von Konvergenz führen unmittelbarer zu kommerziellen Erträgen der Konvergenzprozesse sowie fertigen Produkten wie beispielsweise das Smartphone, das Technologien und Industriesektoren in den Bereichen Telekommunikation, Informationstechnologien, Medien und Unterhaltungselektronik vereinigt (Bröring 2010). Technologie-, Markt- oder Industriekonvergenz können sich jedoch erst nach der wissenschaftlichen Konvergenz herauskristallisieren (Curran et al. 2010). Dennoch wird die wissenschaftliche Konvergenz

¹ RNAi (Ribonukleinsäure-Interferenz) ist ein natürlicher Mechanismus der Genregulation in Organismen, der zum Abschalten von bestimmten Genen führt und dadurch Zellen vor fremden RNA (z.B. Viren) schützt: Chai, S. (2017): Near Misses in the Breakthrough Discovery Process. In: Organization Science, 28 (3), pp. 411-428.

wenig durch die wissenschaftliche Gemeinschaft beachtet. Insbesondere fehlen einschlägige validierte Methoden zur Untersuchung der Entstehung und Entwicklung der wissenschaftlichen Konvergenz.

In der wenigen bisherigen Literatur wird die wissenschaftliche Konvergenz lediglich mittels bibliographischer Daten analysiert (Curran/Leker 2009). Dabei werden Ko-Autorenschaften und die Fachbereiche der Autor*innen als Indikatoren genutzt, da die Entstehung der wissenschaftlichen Konvergenz sich primär durch interdisziplinäre Kooperationen auszeichnet (Curran/Leker 2009; Jeong et al. 2016; Jeong et al. 2018). Dabei können die Fachbereiche identifiziert werden, welche als eine Ursprungsdisziplin positiv auf die Entstehung einzelner Beispiele für wissenschaftliche Konvergenz wirken. Diese Vorgehensweise kann jedoch keine zuverlässigen Ergebnisse liefern, wenn die Autor*innen mit einer deutlichen Neigung zur interdisziplinären Forschung ihren Fachbereich wechseln oder wenn die eindeutigen Angaben über die Zugehörigkeit einer Autorin oder eines Autors einem bestimmten Fachbereich in den entsprechenden bibliographischen Datenbanken fehlen (Cuxac et al. 2013). Darüber hinaus unterliegen die Angaben zur organisatorischen Zugehörigkeit der Autor*innen großen Ungenauigkeiten und sind schwer miteinander zu vergleichen, z.B. wird ein Botanisches Institut der Forschungsgruppe Funktionelle Morphologie und Biomechanik gegenübergestellt, obwohl diese strukturellen Einheiten sich nicht miteinander vergleichen lassen. Zudem können allgemeine Bezeichnungen der etablierten Wissenschaften wie z.B. Biologie oder Chemie keine spezifischen oder neuen Themengebiete abbilden. Daher wird ein verbessertes Messinstrument benötigt.

2. Instrument zur Analyse der wissenschaftlichen Konvergenz

In unserem interdisziplinären Projekt Q-AKTIV, dessen primärer Fokus in der Erforschung der wissenschaftlichen Konvergenz im Bereich der Lebenswissenschaften, insbesondere in den medizinischen Anwendungen liegt, haben wir eine neue Methode entwickelt, die die Problematik der Ko-Autorenschaften und Fachbereichszugehörigkeit umgehen kann. Diese Methode basiert nicht nur auf Ko-Autorenschaften und der Organisationszugehörigkeit der Autor*innen, sondern berücksichtigt auch die Verknüpfungen zwischen den Autor*innen, deren Organisationen, den Fachzeitschriften, in welchen die Forschungsarbeit veröffentlicht wurde, die Publikationen selbst und vor allem die Konzepte, mit welchen die Publikationen annotiert sind. Diese Konzepte können weitaus präziser die neuen Forschungsthemen abbilden, denn sie beruhen auf einem kontrollierten, hierarchischen Thesaurus im Bereich der Lebenswissenschaften MeSH-Thesaurus² (He/Chen 2018). Dieser wurde durch die weltweit größte medizinische Bibliothek (United States National Library of Medicine)³ zur Annotation wissenschaftlicher Publikationen im Bereich Lebenswissenschaften entwickelt und wird für Millionen von Publikationen eingesetzt. Jährlich werden neue Konzepte in die Systematik aufgenommen, um der Entwicklung

neuer Wissensfelder gerecht zu werden. Solche Thesauri wurden auch in anderen wissenschaftlichen Bereichen (z.B. STW⁴ in den Wirtschaftswissenschaften; AGROVOC⁵ im Bereich der Ernährungs- und Landwirtschaften) erarbeitet und werden für die Annotationen wissenschaftlicher Publikationen genutzt. Somit kann unsere Methode grundsätzlich auch für die Konvergenzmessung in anderen Wissensbereichen eingesetzt werden. Der Kern unserer Methode ist ein DeepWalk-Algorithmus aus dem Bereich des maschinellen Lernens (Perozzi et al. 2014). Auf Grundlage eines bibliographischen Netzwerks bestehend u.a. aus Publikationen, Konzepten, Autor*innen, ermittelt der DeepWalk-Algorithmus eine Vektorrepräsentation der Knoten im Netzwerk, sodass ähnliche Knoten eine ähnliche Repräsentation erhalten. Mit der Kosinusdistanz in diesem ermittelten Vektorraum erhalten wir ein Distanzmaß zwischen den Konzepten, das deren semantische Ähnlichkeit („inhaltliche Distanz“) abbildet. Die zeitliche Veränderung der inhaltlichen Distanz zwischen zwei oder mehreren Konzepten definieren wir als wissenschaftliche Dynamik. Die wissenschaftliche Dynamik zeichnet sich durch eine Diffusion und Zuwachs von Wissen (He/Chen 2018) sowie durch Konvergenz- und Divergenzprozesse aus. Die Verringerung der Distanz zwischen zwei oder mehreren Themen über die Zeit hinweg wird als Konvergenz definiert. Im Gegensatz dazu deutet die Vergrößerung der inhaltlichen Distanz auf eine Divergenz hin, für welche eine inhaltliche Entfernung bestimmter Themen voneinander charakteristisch ist.

Um das Instrument im Einsatz zu zeigen, präsentieren wir in unserem Beitrag eine Fallstudie zur Forschung an Cholesterolsenkenden Medikamenten und Naturstoffen, die zur Therapie und Vorbeugung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen eingesetzt werden. Die bisherige Literatur zur wissenschaftlichen Konvergenz (Curran/Leker 2009) hat die Konvergenz der pharmakologischen und ernährungswissenschaftlichen Disziplinen am Beispiel von Phytosterolen (pflanzliche natürliche Cholesterolsenkenden Mittel) umfassend untersucht. Somit konnten wir unser Instrument mittels dieser Fallstudie validieren.

3. Datensatz

Für unsere Analyse wurden spezifische MeSH-Konzepte als Themengebiete aus den Bereichen Pharmakologie und Ernährungswissenschaften nach der speziellen vereinfachten TF-IDF⁶-Methode ausgewählt. Insgesamt wurden 146 MeSH-Konzepte aus dem Bereich Pharmakologie und 132 MeSH-Konzepte aus dem Gebiet Ernährungswissenschaften für die Erhebung des voll-

² Die Beschreibung des MeSH (Medical Subject Headings)-Thesaurus: <https://www.nlm.nih.gov/mesh/meshhome.html> (03.12.2020).

³ Die Beschreibung der Bibliothek und Datenbank MEDLINE: <https://www.nlm.nih.gov/bsd/medline.html> (03.12.2020).

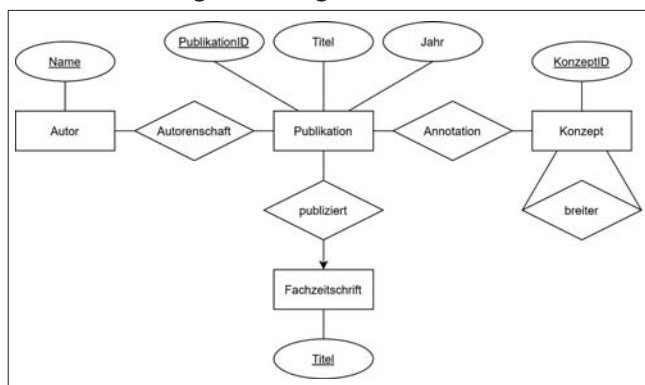
⁴ Die Beschreibung des Standard-Thesaurus Wirtschaft (STW): <http://www.zbw.eu/de/stw-info/mehr-zum-stw/> (04.12.2020).

⁵ Die Beschreibung des Thesaurus AGROVOC: <http://www.fao.org/agrovoc/about> (04.12.2020).

⁶ TF-IDF (Term Frequency-inverse Document Frequency) ist ein Maß für die Bewertung der Bedeutung von Begriffen in Dokumenten.

ständigen Datensatzes gewählt. Im nächsten Schritt wurden alle wissenschaftlichen Publikationen aus der Datenbank ZB MED Knowledge Environment⁷ extrahiert, die im Zeitrahmen 1980-2018 mit den ausgewählten MeSH-Konzepten annotiert wurden. Insgesamt wurden bibliographische Daten für 14 Millionen Publikationen erhoben. Diese Metadaten beinhalten Publikationstitel, -jahren, Autor*innen, MeSH-Konzepte als Annotationen und Fachzeitschriften, in welchen die Publikationen erschienen sind (siehe Abbildung 1). Mithilfe des DeepWalk-Algorithmus (Perozzi et al. 2014) wurden auf den erhobenen bibliographischen Daten (Abb. 1) Modelle mit verschiedenen Eingabemodalitäten und Hyperparametern trainiert. Nachfolgend wurden die Resultate der Modelle qualitativ beurteilt und das Modell für die Darstellung der inhaltlichen Ergebnisse ausgewählt, das in der qualitativen Validierung mit dem höchsten kumulierten Wertfaktor (discounted cumulative gain) bewertet wurde.

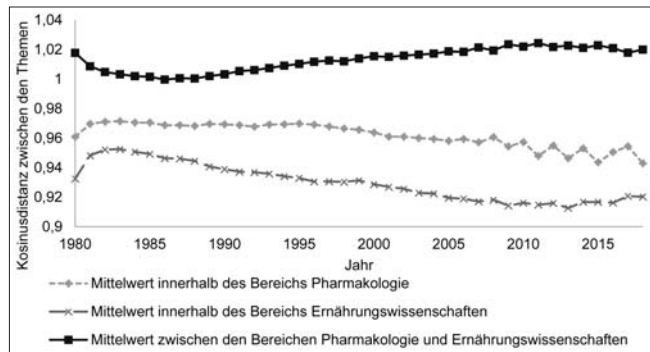
Abb. 1: Schematische Darstellung der Metadaten aus Publikationen, Konzepten, Autor*innen und Fachzeitschriften, die als bibliographische Daten für das Training des Modells mittels des DeepWalk-Algorithmus genutzt wurden



4. Ergebnisse

Mittels unseres berechneten Maßes, das als Indikator für die wissenschaftliche Konvergenz und Divergenz verwendet wird, haben wir die inhaltliche Distanz zwischen allen Themen bestimmt, die sich durch die ausgewählten MeSH-Konzepte aus den beiden wissenschaftlichen Bereichen Pharmakologie und Ernährungswissenschaften ergeben und für die Forschung an Cholesterolspezifischen Themen relevant sind (siehe Abbildung 2). Zusätzlich wird die Distanz innerhalb eines wissenschaftlichen Bereichs (Pharmakologie bzw. Ernährungswissenschaften) in der Grafik aufgetragen (Abb. 2). Das Ergebnis, dass die Kosinusdistanz innerhalb eines wissenschaftlichen selbstständigen Bereichs (Pharmakologie bzw. Ernährungswissenschaften) kleiner ist als die Kosinusdistanz zwischen allen Themen der beiden Bereiche interpretieren wir als erstes Zeichen für die Validität des Ansatzes. Alle Themen innerhalb eines wissenschaftlichen selbstständigen Bereichs stehen naheliegender Weise inhaltlich näher zueinander, da sie ähnliche Annahmen, Theorien und Untersuchungsmethoden nutzen.

Abb. 2: Gemessene Kosinusdistanz zwischen den Themen (MeSH Konzepten) aus den Bereichen Pharmakologie und Ernährungswissenschaften, die für Cholesterolforschung relevant sind



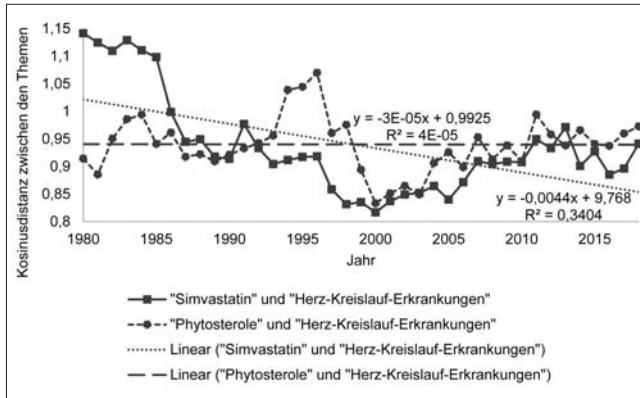
Die zu analysierenden Themen können außerdem einzeln untersucht werden. Die Abbildung 3 zeigt beispielsweise den Verlauf der inhaltlichen Distanz zwischen ausgewählten Themen aus den Bereichen Pharmakologie bzw. Ernährungswissenschaften. Die Grafik veranschaulicht detailliert die Entwicklung jeweils zweier Themen über die Zeit. Da die Kosinusdistanz zwischen den Themen „Simvastatin“⁸ und „Herz-Kreislauf-Erkrankungen“ über den dargestellten gesamten Zeitraum sinkt, wird geschlussfolgert, dass diese zwei Themen sich annähern und dass das Wissen aus diesen beiden Themen zunehmend in Pharmakologie und Ernährungswissenschaften ausgetauscht wird. Beide Themen werden in den bibliographischen Daten stärker verknüpft. Das heißt, entweder befassen sich dieselben Autor*innen mit den beiden Themen oder aber die Forschungsarbeiten werden in denselben Fachzeitschriften veröffentlicht oder beide werden sogar in denselben Publikationen behandelt und mit den gleichen Konzepten annotiert. Damit manifestiert sich ein klares Anzeichen für eine konvergente Entwicklung zwischen diesen beiden Forschungsthemen. Die Untersuchung des Verlaufs der inhaltlichen Distanz zwischen den Konzepten „Herz-Kreislauf-Erkrankungen“ und „Phytosterole“⁹ (Abb. 3) zeigt, dass das Wissen über Phytosterole noch nicht ausreichend ist, um evidenz-basierte Therapieansätze zur Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu bieten. Daraus kann geschlossen werden, dass die wissenschaftliche Konvergenz in diesem Bereich noch nicht zunimmt, obwohl es erste Signale gibt (die Reduzierung der Kosinusdistanz zwischen 1984 und 1989 sowie zwischen 1996 und 2000), die auf deren Entstehung hindeuten. Diese Er-

⁷ Die Datenbank ZB MED Knowledge Environment enthält heterogene Daten aus dem Bereich Lebenswissenschaften: <https://www.zbmed.de/forschen/abgeschlossene-projekte/knowledge-environment/> (03.12.2020).

⁸ Simvastatin ist ein zugelassenes Medikament, das zur Senkung von Low-Density-Lipoprotein Cholesterolem und zur nachhaltigen Behandlung der koronaren Herzkrankheit eingesetzt wird: Scandinavian Simvastatin Survival Study, G. (1994): Randomised trial of cholesterol lowering in 4444 patients with coronary heart disease: the Scandinavian Simvastatin Survival Study (4S). In: The Lancet, 344 (8934), pp. 1383-1389.

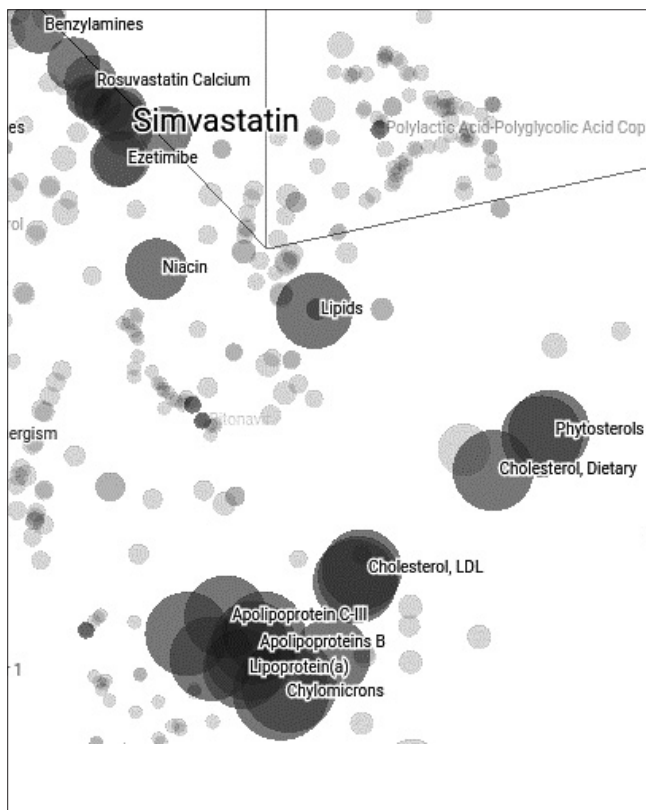
⁹ Phytosterole sind pflanzliche Inhaltsstoffe, die als Lebensmittelzusatzstoffe zur Senkung des Cholesterolspiegels zusätzlich zu Cholesterolsenkenden Medikamenten verwendet werden: Rozner, S./Garti, N. (2006): The activity and absorption relationship of cholesterol and phytosterols. In: Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 282-283, pp. 435-456.

Abb. 3: Gemessene Kosinusdistanz zwischen den ausgewählten Themen (MeSH Konzepten) aus den Bereichen Pharmakologie und Ernährungswissenschaften



kenntnisse stehen im Einklang mit den Befunden der bisherigen Forschung zu Konvergenz im Bereich der Phytosterole (Curran/Leker 2009). Curran und Leker (2009) hatten ganz ähnlich das Auftreten und eine unvollständige Entwicklung der wissenschaftlichen Konvergenz im Bereich Pharmakologie und Ernährungswissenschaften festgestellt. Die Übereinstimmung des Ergebnisses unseres Messinstrumentes mit den bereits erzielten Resultaten aus der Literatur sehen wir als weiteres Anzeichen für dessen Validität.

Abb. 4: Ausschnitt einer t-SNE-Visualisierung der Distanzen zwischen den Themen im mehrdimensionalen Raum



Quelle: Maaten, L. V. D./Hinton, G. (2008): Visualizing data using t-SNE. In: *Journal of Machine Learning Research*, 9, pp. 2579-2605.

5. Praktischer Einsatz und Vorteile des Instruments im Hochschul- und Wissenschaftsmanagement

Mittels des oben angeführten Instruments lassen sich Themen identifizieren, die inhaltlich miteinander verbunden sind und deren Verbindung sich intensiviert, obwohl sie möglicherweise zu unterschiedlichen Fachbereichen gehören. Abbildung 4 zeigt eine t-SNE Visualisierung (Maaten/Hilton 2008) der durch unser Instrument gemessenen Distanzen wissenschaftlicher Themen zum aktuellen Zeitpunkt. Auf dieser Basis können z.B. Entscheidungen über die Organisation der Wissenschaftseinrichtungen getroffen werden, sei es mit dem Ziel eine Homogenität einzelner Abteilungen zu erzielen oder im Interesse der interdisziplinären Forschung die Zusammenarbeit entfernter Wissensgebiete zu fördern. Außerdem ermöglicht unser Instrument eine Verfolgung wissenschaftlicher Dynamiken und damit die Erkennung zukunftsrelevanter Themen wissenschaftlicher Felder. Basierend auf der oben erläuterten besonderen Relevanz wissenschaftlicher Konvergenz, könnten Wissenschaftseinrichtungen, aber auch die Politik und die Wirtschaft, limitierte Mittel in die Bereiche investieren, welche von einer Konvergenz besonders profitieren bzw. in dieser eine besondere Rolle einnehmen. Die Nutzung des Instruments könnte die Fokussierung auf ein zukunftsweisendes Themengebiet ermöglichen, in welchem Hochschulen interne oder institutionsübergreifende Projekte initiieren könnten. Solche Projekte könnten zu Clustern zusammengefasst werden und die Profilierung der Hochschulen in dem besagten Themengebiet etablieren. Da das Instrument die Identifizierung der an der Forschung beteiligten Hochschulen ermöglicht, könnten die Hochschulen in diesem Themengebiet einen Signaleffekt der Forschungs-Exzellenz aussenden und Fördermittel effizienter einwerben. Des Weiteren werden für solche Themen relevante Autor*innen und deren Organisationen identifizierbar sein. Nach der Analyse solcher Informationen können Wissenschaftler*innen relevante Kooperationspartner*innen identifizieren und entsprechend eine Zusammenarbeit initiieren.

6. Ausblick

Angesichts der Tatsache, dass die Forschung von Menschen betrieben wird, deren soziale Charakteristika für die Entscheidung etwa für die Wahl von Forschungsthemen oder Kooperationen wichtig sind, haben wir bereits bei der Entwicklung unseres Instrumentes über die typischerweise vorhandenen bibliographischen Metadaten hinaus weitere Informationen über Autor*innen und deren Organisationen berücksichtigt, wie z.B. das Geschlecht der Autor*innen, das Land oder die Anzahl der Studierenden und Studiengebühren der Organisationen. Diese zusätzlichen Angaben wurden aus den Datenbanken Wikidata¹⁰, GND¹¹ und ORCID¹² extrahiert. In Zukunft werden wir

¹⁰ Wikidata: https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:Main_Page (03.12.2020).

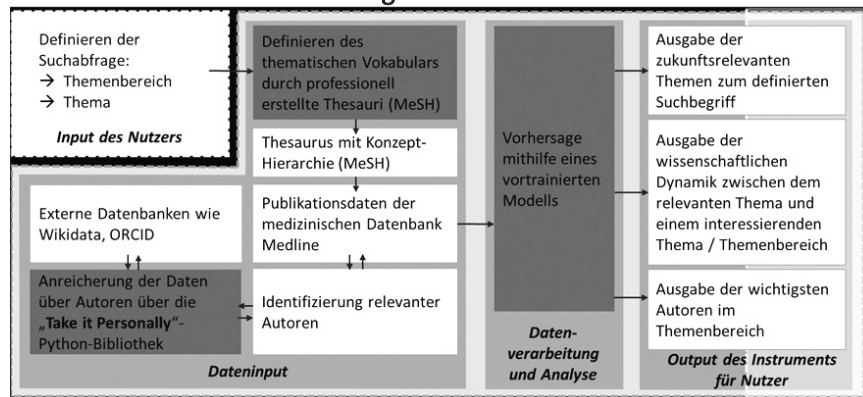
¹¹ GND (Gemeinsame Normdatei): https://www.dnb.de/DE/Professionell/Standardisierung/GND/gnd_node.html (03.12.2020).

¹² ORCID (Open Researcher Contributor Identification Initiative): <https://orcid.org/> (03.12.2020).

uns mit der Nutzung dieser sozialen Kontextinformationen für weiterführende Analysen beschäftigen.

Abbildung 5 beschreibt die systematische Nutzung unseres Messinstrumentes durch das Wissenschaftsmanagement. Ziel des Q-AKTIV Projektes ist es, das Messinstrument auch praktisch nutzbar zu machen. Dazu werden im weiteren Projektverlauf weitere Validierungen und ggf. Verbesserungen des Ansatzes in weiteren Anwendungsfeldern durchgeführt: Die Vorhersage der wissenschaftlichen Dynamik und insbesondere Konvergenzprozesse kann beispielsweise durch die Methoden des maschinellen Lernens im Bereich Link Prediction erweitert werden. Außerdem können Thesauri anderer wissenschaftlichen Bereiche (z.B. STW in den Wirtschaftswissenschaften; AGROVOC im Bereich der Ernährungs- und Landwirtschaften; ACM Computing Classification System in der Informatik) für die weiteren Anwendungsfelder getestet und genutzt werden. Die damit verfügbaren Indikatoren tragen zur besseren Identifikation von wissenschaftlicher Dynamik und damit zur Verbesserung des Wissenschaftsmanagements bei. Sie sind aber darüber hinaus auch für die Erforschung des Wissenschafts- und Innovationssystems von großer Relevanz. Beispielweise können quantitative Untersuchungen zur Rolle einzelner Wissenschaftler*innen und Organisationen sowie von Strukturen von wissenschaftlichen Netzwerken für die Entstehung der wissenschaftlichen Konvergenz dieses Messinstrument nutzen. Ähnliches gilt für die Wirkung der wissenschaftlichen Konvergenz auf die weiteren Phänomene der Technologie-, Markt- oder Industriekonvergenz sowie auf die Entstehung von Innovationen mit hohem Innovationsgrad.

Abb. 5: Schematische Darstellung des Instrumentes



Literaturverzeichnis

- Appio, F. P./Aprea, R./Fantoni, G./Martini, A. (2014): At the Roots of an Interdisciplinary Radical Innovation: Preliminary Insights from the Patenting Activity in the Bioinformatics Industry. In: 15th International Continuous Innovation Network (CINet) Conference Proceedings, pp. 85-107.
- Banse, G./Grunwald, A./Hronszky, I./Nelson, G. L. (2007): Assessing Societal Implications of Converging Technological Development. Baden-Baden.
- Bröring, S. (2010): Developing Innovation Strategies in Times of Market Convergence. In: International Journal of Technology Management, Special Issue on Technology Convergence, 49 (1/2), pp. 272-294.
- Chai, S. (2017): Near Misses in the Breakthrough Discovery Process. In: Organization Science, 28 (3), pp. 411-428.
- Curran, C.-S./Bröring, S./Leker, J. (2010): Anticipating Converging Industries Using Publicly Available Data. In: Technological Forecasting and Social Change, 77 (3), pp. 385-395.
- Curran, C.-S./Leker, J. (2009): Employing STN AnaVist to Forecast Converging Industries. In: International Journal of Innovation Management, 13 (4), pp. 637-664.
- Cuxac, P./Lamirel, J.-C./Bonvallot, V. (2013): Efficient Supervised and Semi-Supervised Approaches for Affiliations Disambiguation. In: Scientometrics, 97 (1), pp. 47-58.
- He, J./Chen, C. (2018): Predictive Effects of Novelty Measured by Temporal Embeddings on the Growth of Scientific Literature. In: Frontiers in Research Metrics and Analytics, 3(9).
- Heo, P. S./Lee, D. H. (2019): Evolution Patterns und Network Structural Characteristics of Industry Convergence. In: Structural Change und Economic Dynamics, 51, pp. 405-426.
- Jeong, D./Cho, K./Park, S./Hong, S. (2016): Effects of knowledge diffusion on international joint research and science convergence: Multiple case studies in the fields of lithium-ion battery, fuel cell and wind power. In: Technological Forecasting and Social Change, 108, pp. 15-27.

- Jeong, D./Lee, K./Cho, K. (2018): Relationships among international joint research, knowledge diffusion, and science convergence: the case of secondary batteries and fuel cells. In: Asian Journal of Technology Innovation, 26 (2), pp. 246-268.
- Maaten, L. V. D./Hinton, G. (2008): Visualizing data using t-SNE. In: Journal of Machine Learning Research, 9, pp. 2579-2605.
- Perozzi, B./Al-Rfou, R./Skiena, S. (2014): DeepWalk: Online Learning of Social Representations. In: Proceedings of the 20th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery und Data Mining, pp. 701-710.
- Rozner, S./Garti, N. (2006): The Activity und Absorption Relationship of Cholesterol and Phytosterols. In: Colloids und Surfaces A: Physicochemical und Engineering Aspects, 282-283, pp. 435-456.
- Scandinavian Simvastatin Survival Study (1994): Randomised Trial of Cholesterol Lowering in 4444 Patients with Coronary Heart Disease: the Scandinavian Simvastatin Survival Study (4S). In: The Lancet, 344 (8934), pp. 1383-1389.
- Schilling, M. A./Green, E. (2011): Recombinant Search und Breakthrough Idea Generation: An Analysis of High Impact Papers in the Social Sciences. In: Research Policy, 40 (10), pp. 1321-1331.
- Sick, N./Preschitschek, N./Leker, J./Bröring, S. (2019): A New Framework to Assess Industry Convergence in High Technology Environments. In: Technovation, 84-85, pp. 48-58.

- **Tetyana Melnychuk**, M.Sc., Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Lehrstuhl für Technologiemanagement, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, E-Mail: melnychuk@bwl.uni-kiel.de
- **Lukas Galke**, M.Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft, Kiel, E-Mail: l.galke@zbw.eu
- **Eva Seidlmayer**, Dr., Wissenschaftliche Mitarbeiterin, ZB MED – Informationszentrum Lebenswissenschaften, Köln, E-Mail: seidlmayer@zbmed.de
- **Konrad U. Förstner**, Prof. Dr., Professor für Information und Data Literacy, TH Köln, Leiter des Programmbereichs Data Science and Services, ZB MED – Informationszentrum Lebenswissenschaften, E-Mail: foerstner@zbmed.de
- **Klaus Tochtermann**, Prof. Dr., Direktor der ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft, E-Mail: k.tochtermann@zbw.eu
- **Carsten Schultz**, Prof. Dr., Professor für Technologiemanagement, Leiter des Lehrstuhls für Technologiemanagement, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, E-Mail: schultz@bwl.uni-kiel.de