

# Einsteins Entdeckung des Gravitationslinseneffekts

## Ein Beispiel für die Bedeutung qualitativen Denkens in der Theorienbildung

Bereits 1912, mehrere Jahre vor der endgültigen Formulierung der Allgemeinen Relativitätstheorie, entdeckte Einstein eine wichtige astrophysikalische Konsequenz dieser Theorie. Ein Stern oder ein anderes massives Objekt kann als „Gravitationslinse“ wirken, wenn zwei Lichtstrahlen eines dahinterliegenden Objektes im Schwerfeld des Sterns so abgelenkt werden, daß sie auf der Erde wieder zusammentreffen. Ein terrestrischer Beobachter sieht das Licht des Objektes dann unter einem bestimmten Winkel zweimal oder, bei vollständig kollinearer Anordnung, in Form eines Ringes. Ist ein Brechungsgesetz für Lichtstrahlen im Schwerfeld gegeben, lassen sich im Rahmen der geometrischen Optik die Bedingungen für ein Zusammentreffen der Lichtstrahlen auf der Erde sowie Verstärkungsfaktoren für die so „fokussierten“ Lichtstrahlen errechnen. Berechnungen eines solchen Gravitationslinseneffekts finden sich, wie sich kürzlich herausgestellt hat [1], bereits in Notizen Einsteins aus dem Jahre 1912 (vgl. Abb. 1). Der Effekt erschien Einstein damals aber so fantastisch, daß er sich erst 24 Jahre später, im Jahre 1936, zu einer Veröffentlichung überreden ließ. Tatsächlich wurde der Effekt erst wiederum Jahrzehnte später, im Jahre 1979, durch den ersten Nachweis einer Gravitationslinse (Q0957+561) bestätigt.

Einstein hatte im Jahre 1911 die Ablenkung eines Lichtstrahls im Schwerfeld der Sonne

vorhergesagt, war aber auf wenig Resonanz unter den Astronomen – mit Ausnahme des Berliner Astronomen Erwin Freundlich – gestoßen. Während eines Aufenthaltes in Berlin im Frühjahr 1912 diskutierte Einstein mit Freundlich mögliche astronomische Konsequenzen seiner Ideen über den Zusammenhang zwischen Schwerkraft und Relativitätsprinzip. Wahrscheinlich im Zusammenhang mit dieser Diskussionen kritzelte Einstein seine Berechnung des Gravitationslinseneffekts in ein Notizbuch [3], mitten zwischen die Adressen von Berliner Bekannten, mathematische Rätsel und Rechnungen zu anderen physikalischen Problemen. Überschlagerrechnungen ergaben, daß der Gravitationslinseneffekt mit den damaligen Mitteln un beobachtbar war. Wohl aus diesem Grunde verzichtete Einstein darauf, seine Ergebnisse zu publizieren.

Auch als der Ingenieur und Amateurwissenschaftler R. W. Mandl ihn 24 Jahre später seinerseits mit der Idee einer Gravitationslinse konfrontierte und um seine Unterstützung für diesen ungewöhnlichen Gedanken bat, zögerte Einstein. Schließlich gab er Mandls Drängen nach und berechnete den Gravitationslinseneffekt mit demselben Ansatz wie aus dem Jahre 1912. Diesmal veröffentlichte Einstein das Ergebnis in *Science* [2], allerdings nicht weil er inzwischen vom Wert seiner Überlegungen überzeugt war, sondern nur, weil er dem „armen Kerl“ Mandl eine

Freude bereiten wollte, wie es in einem Brief Einsteins heißt.

Unserer Ansicht nach ist Einsteins frühzeitige Entdeckung des Gravitationslinseneffekts ein Beispiel für die Bedeutung qualitativen Denkens bei der Entwicklung wissenschaftlicher Theorien. Einstein konnte das einfache gedankliche Modell, bestehend aus der Gravitationslinse, dem entfernten Stern und dem Beobachter, bereits aufstellen und mit einfachen Rechnungen quantitative Schlüsse daraus ziehen, bevor er den vollen mathematischen Formalismus der Allgemeinen Relativitätstheorie verfügbar hatte. Wichtiger als dieser technische Apparat war hier sein Vorgehen, verschiedene Gebiete der Physik, in diesem Fall Gravitationstheorie und geometrische Optik, in einen gedanklichen Zusammenhang zu bringen und mögliche Konsequenzen zu explorieren.

Das Verhältnis zwischen den qualitativen Kernideen einer Theorie und der Entwicklung ihres mathematischen Gewandes gehört zu den zentralen Forschungsfeldern am Berliner Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte. Im Rahmen eines umfassenden Forschungsprojekts zur Entstehung der Allgemeinen Relativitätstheorie ergab sich in diesem Zusammenhang, daß Einstein ebenfalls im Jahr 1912 versuchsweise bereits die korrekten Feldgleichungen aufgestellt hatte (in linearer Näherung) [4]. Er verwarf diese Gleichungen dann aber wieder, weil er sie physikalisch noch nicht interpretieren konnte. In diesem Fall war also der Formalismus bereits weiter entwickelt, und das qualitative Denken hinkte hinterher. Einsteins Entdeckung des Gravitationslinseneffekts dagegen führt den umgekehrten Fall vor. Sie zeigt damit, daß die Entstehung wissenschaftlicher Theorien wie der Allgemeinen Relativitätstheorie erst als das Ergebnis einer komplizierten Wechselwirkung zwischen qualitativem Denken und mathematischem Formalismus zureichend zu verstehen ist.

J. Renn, T. Sauer

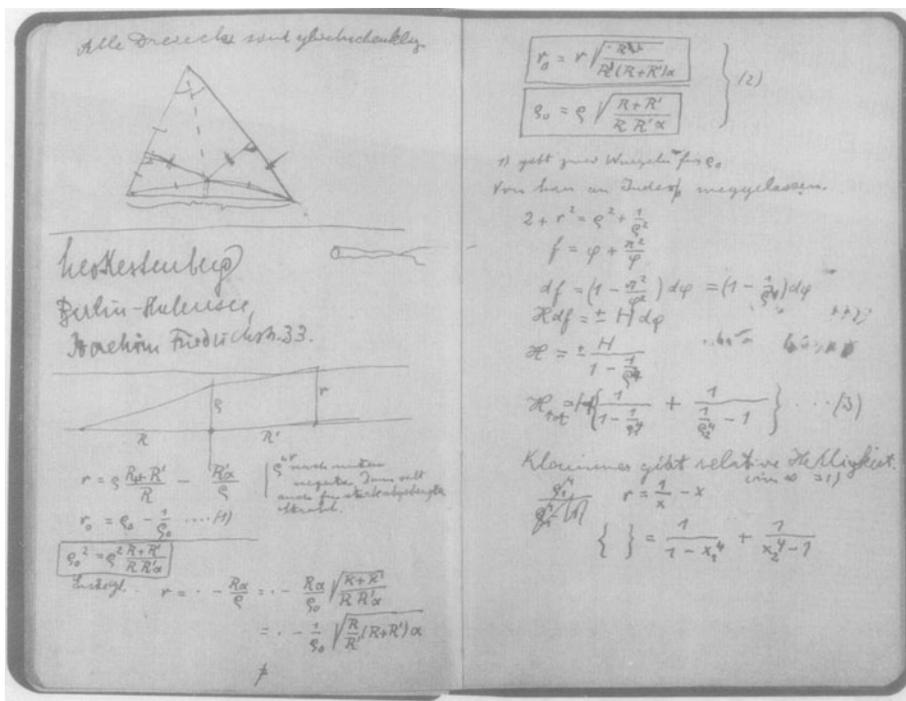


Abb. 1: Einsteins Berechnung des Gravitationslinseneffekts in diesem Notizbuch [3, S. 585–6] läßt sich in das Jahr 1912 datieren. Einsteins „klassische“ Veröffentlichung [2] über diesen Effekt erschien erst 24 Jahre später. (Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Albert Einstein Archivs, Hebräische Universität Jerusalem).

- [1] J. Renn, T. Sauer u. J. Stachel, *Science* **275** (1997) 184.
- [2] A. Einstein, *Science* **84** (1936) 506.
- [3] M. J. Klein et al. (Hrsg.), *The Collected Papers of Albert Einstein*, Vol. 3, (Princeton University Press, Princeton, 1993).
- [4] J. Renn u. T. Sauer, *Phys. Bl.* **52** (1996) 865.

Prof. Dr. Jürgen Renn, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin, und Dr. Tilman Sauer, Institut für Wissenschaftsgeschichte, Universität Göttingen.