

Modellexperimente in der Fachwissenschaft Chemie – eine Dokumentenanalyse

Theoretischer Hintergrund – fachwissenschaftliche Modellexperimente

Modellexperimente sind in der Fachwissenschaft Chemie ein etabliertes Medium zur Erkenntnisgewinnung. Das Spektrum reicht von der Erforschung der Verbrennungschemie von Biokraftstoffen (Kohse-Höinghaus et al., 2010) über biomimetische Experimente zur Wasserstoffherzeugung (Erdem et al., 2011) bis hin zur Erforschung des Katalyseprozesses in spezifischen Systemen (Breinlich, 2009).

Ansätze darüber, was fachwissenschaftliche Modellexperimente charakterisieren, lassen sich in schriftlichen Produkten aus der Fachwissenschaft selbst nur implizit finden, da dort die Intention des Einsatzes von Modellexperimenten nicht konkret diskutiert wird. Der Wissenschaftsphilosoph Brandstetter beschäftigt sich mit der allgemeinen Geschichte von Modellexperimenten, thematisiert aber primär geologische und meteorologische – eine Betrachtung chemischer Modellexperimente bleibt aus. Er beschreibt, dass Modellexperimente verwendet werden, weil mit ihnen Phänomene durch Experimente verfügbar und manipulierbar gemacht werden können und nennt Modellexperimente einen *spezifischen Typus von Modellen* (Brandstetter, 2011, S. 207).

Über Modelle gibt es, gerade in der aktuellen Wissenschaftsphilosophie, viele Diskussionen und Schriften, die allerdings keinen direkten Bezug zum Modellexperiment aufbauen. Im Ursprung der Modelldiskussionen aus den 1960er Jahren finden aber Theorien, die sich auf Modellexperimente übertragen lassen. Black (1962) zum Beispiel unterscheidet vier verschiedene Typen von naturwissenschaftlichen Modellen: scale models, analogue models, mathematical models und theoretical models. Von diesen vier Modelltypen weist die Beschreibung der analogue models die größte Übereinstimmung mit Modellexperimenten auf, da bei diesem Modelltyp im Modell selbst alle relevanten Aspekte aus dem Original abgebildet sein müssen und damit das Ziel im Mittelpunkt steht, die Struktur des Originals möglichst gut zu reproduzieren. Im *Modell des Modellseins* von Mahr (2008) wird zwischen einem *Modell von etwas* und einem *Modell für etwas* unterschieden. Da bei einem *Modell für etwas* die Anwendung des Modells im Vordergrund steht, sind Modellexperimente eher ihnen zuzuordnen. Trotzdem bleibt eine Beschreibung von Modellexperimenten aus und bedingt einer Ausschärfung des Begriffes an sich, um die Strukturen, die dahinter stehen zu verstehen. Für die Wissenschaftsvermittlung ist daher eine Aufarbeitung des Wesens von fachwissenschaftlichen Modellexperimenten notwendig und es besteht Klärungsbedarf darin, wie die Fachwissenschaft Chemie Modellexperimente versteht, zu welchem Zweck Modellexperimente eingesetzt werden und ob dort spezifische Eigenschaften charakteristisch sind. Mit einer detaillierten Beschreibung fachwissenschaftlicher Modellexperimente kann dazu ein Konzept entwickelt werden, mit dem Modellexperimente als eine wissenschaftliche Methode vermittelt werden können.

Ziel der Untersuchung

Es ist das Ziel dieser Studie, Modellexperimente aus dem Kontext der Fachwissenschaft Chemie in ihrem Wesen zu charakterisieren. Daraus soll eine konkrete Beschreibung von Modellexperimenten, die zu Forschungszwecken genutzt werden, folgen. Dazu ergeben sich folgende Fragestellungen, die mithilfe der Dokumentenanalyse an bestehenden fachwissenschaftlichen Publikationen beantwortet werden sollen:

- Mit welchen Zielsetzungen findet der Einsatz von Modellexperimenten statt?
- Wie werden Modellexperimente konzipiert
- Wie werden die Ergebnisse aus Modellexperimenten verwertet?

Da in den fachwissenschaftlichen Publikationen keine expliziten Aussagen zu den Fragestellungen aufzufinden sind, ist das Vorgehen bei der Analyse stark induktiv und richtet sich streng nach den Regeln der zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2010).

Methodisches Vorgehen bei der Dokumentenanalyse

Für die Dokumentenanalyse wurde das Ablaufschema der zusammenfassenden Inhaltsanalyse (Mayring, 2010, S. 68 f.) angepasst und schrittweise umgesetzt (siehe Abbildung 1).

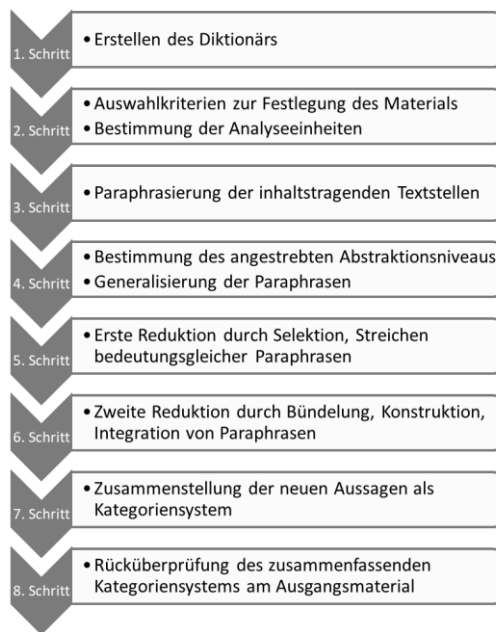


Abbildung 1: Ablaufschema zur durchgeführten Dokumentenanalyse - angelehnt an Mayring (2010).

Zum Festlegen des Analysematerials wurde ein Dictionär erstellt, der im weiteren Verlauf der Analyse zur Identifizierung der inhaltstragenden Textstellen innerhalb der Dokumente verwendet wurde. Der Dictionär ist an Merkmalen eines Experiments orientiert, die aus der Literatur abgeleitet werden können (Sommer et al., 2017). Ergänzt wurde der Dictionär mit spezifischen Begriffen wie „Modelllösung“ und „Prototyp“. Aus der Datenbank SciFinder wurden mittels des Dictionärs und den im Folgenden beschriebenen Kriterien geeignete fachwissenschaftliche Publikationen identifiziert. Das Hauptkriterium war eine ausführliche Auseinandersetzung mit dem Modellexperiment selbst

innerhalb der Publikation. Als Indikator dafür, dass eine *ausführliche* Auseinandersetzung gegeben ist, wurden die einzelnen Nennungen von Begriffen aus dem Dictionär im jeweiligen Dokument näher beleuchtet. Es wurde festgelegt, dass sich eine ausführliche Auseinandersetzung unter anderem dadurch auszeichnet, dass die Nennungen von Begriffen aus dem Dictionär nicht ausschließlich in einem, sondern in mehreren Elementen (Schlagwörter, Titel, Abstract, Einleitung, Hauptteil, Zusammenfassung) des Dokuments verwendet wurde. Desweiteren sollten die relevanten Begriffe, die aufzufinden sind, mehrmals im Dokument vorkommen und sich die Verwendung von Begriffen aus dem Dictionär nicht auf einen Begriff beschränken, um ein umfassendes Bild des konkreten Modellexperiments zu gewährleisten. Mithilfe der Kriterien konnten aus der großen Anzahl an Suchergebnissen – alleine für den Begriff „model substance“ beläuft sich die Anzahl der Suchergebnisse auf über 1600 Publikationen – geeignete Dokumente für die Analyse ausgewählt werden. Durch diesen quantitativen Schritt wurden aus 77 potentiell geeigneten Dokumenten zehn als sehr gut geeignet identifiziert, wovon bei näherer inhaltlicher

Betrachtung sechs Dokumente in hohem Maße zur Analyse geeignet schienen. Diese sechs Dokumente weisen eine durchschnittliche Länge von 11 Seiten auf, sind zwischen 1995 und 2015 erschienen und sind thematisch unter anderem in den Bereichen Katalysatorforschung, Umweltforschung und Angewandter Chemie angesiedelt. Es liegt also ein breites Spektrum an Forschungsaktivitäten mit Modellexperimenten als Grundlage für die Analyse vor.

Mit dem Diktionär wurden anschließend die sechs Publikationen auf für die Analyse relevante inhaltstragende Textstellen hin untersucht. Die 81 identifizierten Textstellen wurden dann jeweils paraphrasiert und nach den Interpretationsregeln der zusammenfassenden Inhaltsanalyse (Mayring, 2010) in mehreren Schritten abstrahiert. Da einige Textstellen mehrere Aussagen über Modellexperimente enthalten, wurden insgesamt 127 Paraphrasierungen generiert. Anschließend wurden inhaltsgleiche Paraphrasierungen zusammengefasst und gebündelt. Daraus resultierten 85 induktiv gebildete vorläufige Kategorien, die nun in ein Kategoriensystem überführt wurden. Dazu wurde das Prinzip des Expertenurteils genutzt (Mayring, 2010, S. 119). Hier wurden alle 85 vorläufigen Kategorien an sieben Experten mit chemiedidaktischem Hintergrund gegeben, um die vorläufigen Kategorien unabhängig voneinander einander zuzuordnen und zu benennen. Bei einer Übereinstimmung von mindestens vier der sieben Zuordnungen wurden die Zuordnungen direkt übernommen. Aus den sieben Expertenurteilen wurden drei Kategoriensysteme (Ziele, Konzeption, Ergebnisverwertung) induktiv gebildet.

Für die Rücküberprüfung wurden zwei der sechs Publikationen erneut analysiert, um zu zeigen, dass die Interpretationen stimmig sind. Desweiteren wurde eine siebte, neue Publikation aus dem Jahr 2017 analysiert und mit den bestehenden Kategorien verglichen. Damit konnten am Ende der Analyse Antworten auf die drei Ausgangsfragen (a) nach den Zielen des Modellexperimente-Einsatzes, (b) nach der Konzeption von Modellexperimenten und (c) nach der Verwertung der Ergebnisse aus Modellexperimenten gegeben werden.

Ergebnisse und weiterführende Untersuchung

Mithilfe der drei Kategoriensysteme, die aus der Dokumentenanalyse generiert worden sind, können nun Modellexperimente in der Fachwissenschaft Chemie in ihrem Wesen beschrieben werden. Über die herausgearbeiteten Ziele, die mit dem Einsatz eines Modellexperimentes verfolgt werden, können Zugänge zu fachwissenschaftlichen Forschungsideen aufgezeigt werden. Das Kategoriensystem über die Konzeption von Modellexperimenten beinhaltet mehrere Oberkategorien, die Parallelen zu den Merkmalen eines Experimentes aufweist. Es wurden Aussagen über die verwendete Fachmethode – überwiegend über die chemische Reaktion –, über das verwendete Material im Modellexperiment, über die Reaktionsbedingungen, über die verwendeten Substanzen und über das Gesamtsystem als solches gefunden. Dazu konnten jeweils Voraussetzungen, Empfehlungen und Eigenschaften zu den verschiedenen Merkmalen identifiziert werden. Im dritten Kategoriensystem über die Verwertung der Ergebnisse aus Modellexperimenten sind Aussagen darüber zu finden, die sich mit dem Transfer der Erkenntnisse auf das Originalsystem beschäftigen. Außerdem konnten Bedingungen identifiziert werden, die sich unter anderem auf die Nähe des Modellsystems zum Original beziehen und den Ergebnistransfer beeinflussen.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt darin, zu erfahren, wie Modellexperimente im Forschungsprozess selbst integriert sind. Dazu wurde auf der Dokumentenanalyse aufbauend ein Leitfadenterview vorbereitet. Dabei soll das Kategoriensystem an Fachwissenschaftler herangetragen werden, die sich – beim aktuellen oder bei vergangenen – Forschungsprojekten daran bedienen, Modellexperimente für ihre Forschung einzusetzen. Damit soll eine Basis geschaffen werden, um diesen Aspekt der Wissenschaft vermittelbar zu machen, damit ein Beitrag zur Wissenschaftsvermittlung geleistet werden kann.

Literatur

- Black, M. (1962): *Models and Metaphors – Studies in Language and Philosophy*. Cornell University Press, New York, 1. Auflage.
- Brandstetter, T. (2011): Täuschend ähnlich – Bemerkungen zur Geschichte des Modellexperiments. In: *Ber. Wissenschaftsgesch.* 34, S. 207-223.
- Breinlich (2009): *Entstehung, Charakterisierung und katalytische Eigenschaften binärer Oberflächenlegierungen*. Dissertation, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Erdem, Ö. F., Schwartz, L., Stein, M., Silakov, A., Kaur-Ghumaan, S., Huang, P., Ott, S., Reijerse, E. J., Lubitz, W. (2011): Ein Modell des aktiven Zentrums der [FeFe]-Hydrogenasen mit biologisch relevanter Azadithiolat-Brücke: eine spektroskopische und theoretische Untersuchung. In *Angew. Chem.* 123, 1475-1479.
- Kohse-Höinghaus, K., Oßwald, P., Cool, T. A., Kasper, T., Hansen, N., Qi, F., Westbrook, C. K., Westmoreland, P. R. (2010): Verbrennungsschemie der Biokraftstoffe: von Ethanol bis Biodiesel. In *Angew. Chem.* 122, 3652–3679.
- Mahr, B. (2008): Ein Modell des Modellseins – Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs. In: U. Dirks, E. Knobloch: *Modelle*. Peter Lang Verlag, Frankfurt/Main, 1. Auflage.
- Mayring, P. (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Beltz Verlag, Weinheim, 11. aktualisierte und überarbeitete Auflage.
- SciFinder: <https://scifinder.cas.org/> (zuletzt geöffnet am 06.10.2017)
- Sommer, K., Steff, H., Schröder, T. P., Schröder, T. P., Toschka, C., Fischer, R. A. (2017): Modellexperimente im Chemieunterricht – Ein Beitrag zur Definition und zur Bestimmung des Modellierungsgrades. In *Chemkon*, 24, Nr. 1, S. 13-19.