

Zusammenfassung

Naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) rückt innerhalb der fachdidaktischen Debatte um Bildungsziele immer stärker in den Fokus. Neben grundlegenden naturwissenschaftlichen Zusammenhängen gelten ein Verständnis von Nature of Science (NOS) und experimentelle Kompetenzen, d.h. insbesondere der Variablenkontrollstrategie (VKS), in den naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken als zentrale Bestandteile des Grundwissens. Dabei zeichnet sich in der andauernden Diskussion um die facettenreichen Aspekte von NOS zunehmend ein Konsens darüber ab, welche Dimensionen für die Allgemeinbildung von jungen Menschen besonders wichtig sind.

Trotz des nachgewiesenen Zusammenhangs zwischen Wissenschaftsverständnis und Lernerfolg scheint der naturwissenschaftliche Unterricht dieses Verständnis bzw. diese Kompetenzen auf einer Metaebene nur teilweise zu vermitteln. Darüber hinaus ist noch nicht hinreichend geklärt, in welchem Ausmaß diese Vermittlung in anderen Lernkontexten, wie beispielsweise an außerschulischen Lernorten, gelingen kann.

Daher wird in dieser Arbeit untersucht, inwiefern die Vorstellungen zu NOS und die Kompetenz der VKS im Rahmen eines Besuchs im *Schüler*innen-Labor Physik* positiv beeinflusst werden können und inwiefern sich dieser Effekt gegebenenfalls vom Einfluss des Regelunterrichts abhebt.

Dafür wurden zwei Messinstrumente aus der Domäne Biologie in die der Physik überführt und validiert. Somit ist für die Dimension NOS eine Messung der Skalen *Kreativität in den Naturwissenschaften*, *Entwicklung des Wissens* und *Zweck der Naturwissenschaften* sowie für die Dimension VKS eine Erhebung der Skalen *Identifizieren von Hypothesen* und *Planen von Experimenten* möglich.

In einem ersten Schritt wurden die Vorstellungen zu NOS und die Kompetenz der VKS einer Kontrollgruppe, die nur den Regelunterricht erfuhr, zu Schuljahresbeginn und -ende erfasst. In einem zweiten Schritt wurde ein Schüler*innen-Labor konzipiert, das mithilfe der Methode des forschend-entdeckenden Experimentierens und einer authentischen Begegnung der Schüler*innen mit der universitären Forschung(sgemeinschaft) gezielt die Vorstellungen zu NOS und die Kompetenz der VKS adressiert. Im Sinne einer Interventionsstudie wurden die Schüler*innen, die das Labor besuchten, in diese Studie einbezogen. Die Erhebung der Vorstellungen zu NOS und der Kompetenz der VKS dieser Interventionsgruppe erfolgte zusätzlich zu Schuljahresbeginn und -ende ebenfalls kurz vor und nach dem Laborbesuch.

Es bestätigte sich, dass der Regelunterricht nur eine der erfassten Facetten von NOS (*Entwicklung des Wissens*) in geringem Maße positiv adressiert, während die beiden anderen nicht oder gar negativ beeinflusst wurden. Auch die untersuchte Kompetenz der VKS wurde durch den Unterricht nicht gefördert bzw. zeigten eine rückläufige Entwicklung.

Dagegen konnten durch den Besuch des Schüler*innen-Labors zwei der Aspekte von NOS, nämlich *Kreativität in den Naturwissenschaften* und *Entwicklung des Wissens*, mit mittleren Effektstärken gefördert werden. Bemerkenswert ist insbesondere, dass die Effekte trotz dieser einmaligen Intervention teilweise bis zum Ende des Schuljahres bestehen blieben.

Mit dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Förderung überfachlicher Denk- und Arbeitsweisen, d.h. Aspekte von NOS und VKS, im Rahmen eines Besuchs im Schüler*innen-Labor nachhaltig möglich ist.

2. Theoretische Fundierung

Die in dieser Arbeit zentralen Begriffe *Nature of Science* (NOS) und *experimentelle Kompetenz* (hier: die Variablenkontrollstrategie, VKS) sollen in diesem Kapitel geklärt sowie deren Wichtigkeit für die naturwissenschaftliche und gesellschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) hervorgehoben werden. Da als Teilaspekte von Scientific Literacy sowohl epistemologische Überzeugungen als auch NOS gezählt werden, erfolgt zunächst eine Ausschärfung der Begrifflichkeiten. So sollen zuerst die epistemologischen Überzeugungen und anschließend die thematisch nahen Überzeugungen über NOS vorgestellt und in Beziehung zueinander gesetzt werden.

Da in den Naturwissenschaften das Experiment eine wesentliche Säule der Erkenntnisgewinnung darstellt, ist die Kenntnis um die Möglichkeiten und Grenzen dieser Methode ein weiterer wichtiger Teilaspekt von Scientific Literacy. Jedoch wurde für das Experimentieren lediglich ein Rahmen gesteckt, in dem sich naturwissenschaftliche Untersuchungen bewegen, weshalb in dem anschließenden Abschnitt eine Einordnung des Experiments im historischen und modernen Kontext sowie in die wissenschaftliche Methodik erfolgen. Zum Abschluss werden verschiedene Modelle zur kognitionspsychologischen Beschreibung des Experimentierens, unter anderem auch das wegweisende SDDS-Modell und die in dieser Studie verwendete Adaption dieses Modells, vorgestellt.

2.1. Epistemologische Überzeugungen und Nature of Science

Die Frage, was Naturwissenschaften charakterisiert und von anderen Wissenschaften abgrenzt, beschäftigt seit längerem schon die Wissenschaftstheorie. Trotzdem findet sich weder für die Fachdisziplinen, noch für die Naturwissenschaften im Allgemeinen eine zusammenfassende Beschreibung. Darum stellt sich nicht nur für Heranwachsende die berechnete Frage, was das Wesen der Naturwissenschaften ausmacht.

Historisch betrachtet wurden Erklärungen für Phänomene in der Natur bereits in der Antike gesucht. Schon im vierten Jahrhundert vor Christus versuchte Aristoteles mystische Erklärungen der natürlichen Welt durch Regeln und Gesetzmäßigkeiten zu ersetzen. Im Gegensatz zu heutigen Untersuchungen beruhten die Theorien von Aristoteles jedoch ausschließlich auf Gedankenexperimenten und Beobachtungen in der Natur. Obwohl keine gezielte Einflussnahme auf die Natur ausgeübt wurde, legten die antiken Philosophen damit die Anfänge der modernen Naturwissenschaften (Moore, 1999; Puthz, 1988). Mit den ersten Experimenten im modernen Sinn gelten Francis Bacon und Galileo Galilei als „Vorreiter der Ausrichtung naturwissenschaftlicher Erkenntnis auf das fragende prüfende Experiment“ (Ehmer, 2008, S. 6).

Einhergehend mit der Entwicklung der Naturwissenschaften entwickelte sich auch die

Wissenschaftsphilosophie, die Epistemologie. Die Vorstellung, was Naturwissenschaften ausmacht und das Selbstverständnis eben dieser Disziplinen spiegelt sich in den Vorstellungen zu NOS und den epistemologischen Überzeugungen wider. Da sich zunächst der Begriff der epistemologischen Überzeugungen herausgebildet hat, soll auf ihn im Folgenden eingegangen werden.

2.1.1. Epistemologische Überzeugungen

Die begriffliche Herkunft der Epistemologie findet sich im englischen und französischen Sprachraum und wurde im 19./ 20. Jahrhundert synonym zum, im deutschen Sprachraum bisher üblichen, Begriff Erkenntnistheorie eingeführt. Mit diesen Begriffen wird die philosophische Disziplin beschrieben, die die Frage über die Entstehung und Gültigkeit von Wissen als wissenschaftliches Forschungsgebiet untersucht (Ehmer, 2008; Sandoval & Reiser, 2004). Unter epistemologischen, d.h. erkenntnistheoretischen Überzeugungen werden dabei im Allgemeinen domänenspezifische oder domänenübergreifende Vorstellungen über die Struktur des Wissen sowie des Wissenserwerbs verstanden (Hofer & Pintrich, 1997).

Diese epistemologischen Überzeugungen (Epistemological Beliefs) und deren Bedeutung für das Lernen werden bereits seit den 1960er Jahren systematisch entwicklungs- und kognitionspsychologisch untersucht (Conley et al., 2004; Perry, 1968). Ausgehend von der Theorie, dass diese intuitiven Vorstellungen die Lernprozesse durch eine Vorstrukturierung der wahrgenommenen Inhalte beeinflussen, werden dabei zum einen das Konstrukt der epistemologischen Überzeugungen, zum anderen die Veränderungen dieses Konstrukts erforscht (Hofer & Pintrich, 1997). So konnte Perry (1968) bereits die Veränderungen der Vorstellungen von Studierenden während ihrer Studienzeit in einem Entwicklungsmodell beschreiben. Die Studierenden durchliefen dabei Stadien vom einfachen Dualismus, der Wissen in Kategorien wie richtig und falsch unterteilt, bis hin zu einer relativierenden Ansicht. Durch weitere daran anschließende Untersuchungen zu epistemologischen Überzeugungen konnten ein immer differenzierteres Bild darüber gewonnen werden (Urhahne & Hopf, 2004).

Schließlich gelang Schommer (1990) der Perspektivenwechsel von einem eindimensionalen zu einem mehrdimensionalen Konstrukt von mehr oder weniger voneinander unabhängigen epistemologischen Überzeugungen. Durch ihre Fragebogenstudie konnte sie vier epistemologische Überzeugungen identifizieren: Stabilität (zeitlich stabil bis konstanter Entwicklungsprozess), Struktur (vereinzelt bis stark wechselwirkend), Geschwindigkeit des Lernens (sehr schnell oder niemals bis schrittweise) und Fähigkeit des Lernens (von Geburt an festgelegt bis lebenslange Verbesserung).

Diese veränderte Sichtweise erlaubte nun ein vertieftes Verständnis über die epistemologischen Vorstellungen von Lernenden sowie von Naturwissenschaftler*innen. So unterscheiden Hofer und Pintrich (1997) zwischen den „Vorstellungen über die Struktur des Wissens“ und den „Vorstellungen über die Struktur des Wissenserwerbs“. Innerhalb dieser Vorstellungen gibt es wiederum zwei epistemologische Dimensionen: Die Vorstellungen über die „Struktur des Wissens“ beinhaltet die Dimensionen „Sicherheit des Wissens“ und „Komplexität des Wissens“ (Hofer & Pintrich, 1997, S. 119f). Während die erste

Dimension beschreibt, ob Wissen als veränderlich oder feststehend wahrgenommen wird, meint die zweite Dimension, ob Wissen als Ansammlung von Fakten oder als in Wechselbeziehung stehende Konzepte verstanden wird. Die „Vorstellungen über die Struktur des Wissenserwerbs“ werden von Hofer und Pintrich (1997) in die Dimensionen „Quelle des Wissens“ und „Rechtfertigung des Wissens“ unterteilt. Hierbei beschreibt „Quelle des Wissens“ die Vorstellung, dass Wissen durch Autoritäten vermittelt oder von Lernenden konstruktivistisch erworben wird (Hofer & Pintrich, 1997, S. 120). Die „Rechtfertigung von Wissen“ beleuchtet, wie Lernende argumentieren und dabei Aussagen von Lehrenden und Expert*innen sowie empirische Evidenzen nutzen. Dabei wird wieder unterschieden, ob die Lernenden bipolar (richtig/ falsch) oder relativierend und begründet entscheiden und diskutieren (Hofer & Pintrich, 1997). Kremer (2010) legt den Fokus bei den „Vorstellungen über die Struktur des Wissenserwerbs“ auf die Erkenntnisgewinnung. So wird die Dimension „Quelle des Wissens (Herkunft des Wissens)“ als die Dimension verstanden, die beschreibt, wer zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn beitragen kann. Die Dimension „Rechtfertigung von Wissen“ beschreibt dementsprechend, inwiefern naturwissenschaftliches Wissen evidenzbasiert gewonnen wird (Kremer, 2010, S. 49ff).

Schommer und Walker (1995) warfen zudem die Frage auf, ob die intuitiven Überzeugungen zur Epistemologie der Lernenden domänenspezifisch oder domänenübergreifend zu verstehen sind. Ausgehend von einem multidimensionalen Ansatz wurde die Erforschung der Domänenabhängigkeit epistemologischer Überzeugungen, besonders was den Wissensbereich Naturwissenschaften betrifft, intensiviert (bspw. Conley et al., 2004; Köller et al., 2000; Kremer und Mayer, 2013). Als Konsequenz davon eröffnet sich so ein Forschungsfeld, das sich den Überzeugungen widmet, die charakterisierend für die Naturwissenschaften sein sollen. In Abgrenzung zu den epistemologischen Überzeugungen wurde in diesem Zusammenhang der Begriff Nature of Science geprägt.

2.1.2. Nature of Science

Der Begriff Nature of Science wurde Ende des 20. Jahrhunderts aus dem englischen Sprachraum in den deutschen eingebracht. Verschiedene Autor*innen übersetzen den Begriff allerdings unterschiedlich. So spricht Höttecke (2001) sowohl von Nature auf Science als auch von Natur der Naturwissenschaften. Dabei wurden aber auch Bezeichnungen wie „Wissen über Naturwissenschaften“ (OECD, n. d., S. 13) oder „Kultur der Naturwissenschaften“ (Lübeck, 2020, S. 1) eingeführt sowie der Begriff der „Metastruktur der Naturwissenschaften“ (Kircher, 2015b, S. 34) verwendet, der erkenntnis- und wissenschaftstheoretische, wissenschaftshistorische, wissenschaftsethische, gesellschaftliche, politische und ästhetische Zusammenhänge zusammenfasst (Höttecke, 2001).

In dieser Arbeit soll NOS entsprechend der uneindeutige Verwendung und in Anpassung an den internationalen Sprachgebrauch für all diese Begrifflichkeiten und deren Nuancierungen verwendet werden. Außerdem wird in der vorliegenden Studie vorwiegend anhand des Fachs Physik argumentiert, wobei dies aber nicht die anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen exkludierend, sondern exemplarisch für alle naturwissenschaftlichen Fachrichtungen verstanden werden soll.

Darüber hinaus ist die Trennung von NOS und epistemologischen Überzeugungen in der

Literatur keinesfalls eindeutig. So werden die Begriffe teilweise synonym gebraucht (bspw. Sandoval und Reiser, 2004) teilweise aber auch scharf voneinander abgegrenzt (bspw. Lederman et al., 2002) oder als sich überschneidend, jedoch ohne Bezug aufeinander und parallel entwickelnd (bspw. Priemer, 2006) dargestellt (Ehmer, 2008; Neumann & Kremer, 2013).

Aus wissenschaftsphilosophischer Sicht finden sich diverse Definitionen von NOS und daraus hervorgegangenen Begriffen (Kircher, 2015b). Im Hinblick auf die Relevanz der Charakteristika von NOS im Schulunterricht, zeichnet sich jedoch ein Konsens ab, welche der wissenschaftsphilosophischen Aspekte der Naturwissenschaftsunterricht vermitteln sollte (Lederman et al., 2002; McComas & Olson, 1998; Osborne et al., 2003). Dieser ist jedoch auch weiterhin einer kritischen Reflexion und Rekonzeptualisierung unterworfen (Abd-El-Khalick, 2013; Adúriz-Bravo, 2013; Allchin, 2011, 2013; Erduran & Dagher, 2014; Lederman et al., 2014). Die Definitionen von NOS von ausgewählten Studien, die diese Diskussion prägen bzw. für die vorliegende Arbeit relevant sind, sollen hier kurz dargestellt werden (vgl. Tabelle 2.1).

McComas und Olson (1998) führten eine Untersuchung von acht bildungspolitischen Dokumenten, d.h. Bildungsstandards und Curricula, unter dem Aspekt der darin formulierten Bildungsinhalte durch. Sie untersuchten dabei neben den amerikanischen Bildungsstandards auch die nationalen Bildungsstandards und -curricula von Australien, Neuseeland, Kanada, England und Wales. Dabei konnten sie etwa 40 Aussagen und Aspekte von NOS identifizieren, wobei nur ein Teil dieser Aussagen in allen vorkamen. Somit konnten die Autor*innen im englischen Sprachraum sich ähnelnde Aspekte über Kernelemente von NOS bezüglich bildungspolitischer Dokumente finden (National Research Council, 1996; Neumann & Kremer, 2013; Rutherford & Ahlgren, 1991). In ihrer Textanalyse fanden McComas und Olson, dass Naturwissenschaften als der Versuch natürliche Phänomene zu erklären verstanden werden. Dabei wird naturwissenschaftliches Wissen nicht nur durch eine einzige, universelle Methode, sondern vielmehr durch das Zusammenspiel einer naturwissenschaftlichen Methodenvielfalt gewonnen. Das naturwissenschaftliche Wissen beruht daher stark auf Beobachtungen, experimentellen Belegen und rationalen Begründungen. Es hat zudem einen vorläufigen Charakter, ist aber trotzdem von relativ dauerhafter Bedeutung. Des Weiteren stellen McComas und Olson Naturwissenschaftler*innen als kreative Menschen dar, die unabhängig von ihrer sozialen oder kulturellen Herkunft zur Gesamtheit des naturwissenschaftlichen Wissens beitragen können. Daher sind die modernen Naturwissenschaften heutzutage von neuen Technologien, aber eben auch den sozialen, historischen und kulturellen Umständen geprägt (McComas & Olson, 1998).

Osborne et al. (2003) näherten sich einer Definition von NOS in Form einer Delphi-Studie (vgl. Häußler et al., 1980). Dazu befragten sie unabhängig voneinander in einem mehrstufigen Verfahren verschiedene Expert*innen der naturwissenschaftlichen Fachgebiete, der Fachdidaktik sowie der Geschichte, der Philosophie und der Soziologie der Naturwissenschaften, des Wissenschaftsjournalismus' und des Bildungswesens. Zentrale Fragen der Interviews waren, welche Vorstellungen über die Naturwissenschaften

2. Theoretische Fundierung

	McComas und Olson (1998)	Osborne et al. (2003)	Lederman (2006, S. 304)	Schwartz et al. (2008, S. 4ff)	Kremer (2010)
Vorläufigkeit	Scientific Knowledge is tentative	Science and Certainty	Scientific Knowledge is tentative		Sicherheit des Wissens
Empiriebasierte Evidenz	Science relies on Empirical Evidence	Analysis and Interpretation of Data	[Scientific Knowledge is] empirically-based	Justification of Scientific Knowledge	Rechtfertigung des Wissens
Wissenschaftliche Gütekriterien von Forschung	Scientists require Replicability and Truthful Reporting	Scientific Method and Critical Testing			
Erkenntnisgewinn als Ziel	Science is an attempt to explain Phenomena	Hypothesis and Prediction		Scientific Questions guide Investigations	Zweck der Naturwissenschaften
Kreativität	Scientists are creative	Creativity/ Science and Questioning	[Scientific Knowledge] necessarily involves Human Inference, Imagination, and Creativity		Kreativität in den Naturwissenschaften
Soziale Eingebundenheit	Science is part of Social Tradition	Cooperation and Collaboration	[Scientific Knowledge is] subjective	Community of Practice	Herkunft des Wissens
Zusammenspiel mit Technik	Science has played an Important Role in Technology	Science and Technology			
Naturwissenschaften im Gefüge von Gesellschaft und Kultur	Scientific Ideas have been affected by their Social and Historical Milieu	Historical Development of Scientific Knowledge	[Scientific Knowledge] is socially and culturally embedded		
Vielfältigkeit		Diversity of Scientific Thinking		Multiple Methods and Purposes of scientific Investigations	
Graduelle Entwicklungen	Changes in Science occur gradually				Entwicklung des Wissens
Globalität	Science has Global Implications				
Gütekriterien von Veröffentlichungen Theorien und Gesetze	New Knowledge must be reported clearly and openly		Functions of, and Relationships between, Scientific Theories and Laws		
Anomalitäten				Recognition and handling of Anomalous Data	Einfachheit des Wissens

Tabelle 2.1.: Gegenüberstellung der für diese Arbeit wesentlichen Aspekte von Nature of Science in der Literatur (nach Neumann und Kremer, 2013, S. 215 und Kremer, 2010)

sowie welche Inhalte im Hinblick auf naturwissenschaftliche Methoden, Eigenschaften naturwissenschaftlichen Wissens und Organe sowie welche sozialen Aspekte der Naturwissenschaften im Schulunterricht vermittelt werden sollten. Daraus ergaben sich zehn zentrale Aussagen, die eine hohe Ähnlichkeit zu den Befunden von McComas und Olson (1998) aufweisen (vgl. Tabelle 2.1).

Lederman et al. (2002) versuchten die Aspekte von NOS auf Relevanz für den Alltag von Schüler*innen einzuschätzen und herauszuarbeiten, welche im Schulunterricht vermittelt werden sollten. Demnach sollten diese Aspekte den folgenden drei Fragen genügen:

- „Is knowledge of the aspect of NOS accessible to students?“
- „Is there general consensus about the aspect of NOS?“
- „Is it useful for all citizens to understand the aspect of NOS?“ (Lederman, 2006, S. 304)

Aus diesen Überlegungen konnten Aspekte isoliert werden, die die Vielzahl der Aspekte von NOS einschränken und auf für Schüler*innen relevante und daher vermittelnswerte Aspekte reduzieren. Kremer (2010) fasst eine adäquate Vorstellung von NOS nach Lederman et al. (2002) folgendermaßen zusammen:

„Naturwissenschaftliches Wissen besitzt einen vorläufigen Charakter und verändert sich im Laufe der Zeit, stützt sich auf empirische Belege, wird objektiv durch Beobachtungen und Experimente gewonnen, ist aber auch subjektiv und theoriegeladen, stellt ein Produkt menschlicher Kreativität dar und ist von sozialen, kulturellen und technologischen Aspekten mitgeprägt“ (Kremer, 2010, S. 11).

Schwartz et al. (2008) führten den Begriff der Nature of Scientific Inquiry (NOSI) ein. Dieser beinhaltet lediglich die Aspekte der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung und sorgt damit für eine größere inhaltliche Nähe zur Epistemologie. Auf die sich daraus ergebenden Überschneidungen zwischen NOSI und NOS nach Lederman et al. (2002) weisen die Autor*innen jedoch bereits hin. Auch die Unterscheidung zwischen Nature of Scientific Inquiry und Nature of Scientific Knowledge gestaltet sich dabei schwierig.

Höttecke (2001) legt bei seiner Übertragung des englischen Begriffs in den deutschsprachigen Raum vier Themenschwerpunkte als übergeordnete Dimensionen von NOS fest:

- **Wissenschaftler*innen als Person, deren Arbeit und ihre Bedingungen**
Ausgehend von Fehlvorstellungen über stereotype Wissenschaftler*innen umfasst diese Dimension ebenfalls Aspekte der Motivation für naturwissenschaftliche Forschung, der Arbeitsumgebung sowie moralischer Fragestellungen.
- **Epistemologischer Status naturwissenschaftlichen Wissens**
Diese Dimension bildet das Verständnis naturwissenschaftlicher Theorien mit ihrem

vorläufigen, veränderlichen Charakter sowie dem Ziel von Naturwissenschaften Phänomene zu erklären und Prozesse zu modellieren, ab.

- **Experiment im Unterricht und als Forschungspraxis**
Die unterschiedlichen Rollen des Experiments zur Wissensvermittlung oder -generierung sowie dessen Einsatz in den Naturwissenschaften wird in dieser Dimension vereint.
- **Naturwissenschaftliche Wissensproduktion und ihre Bedingungen**
Hierunter werden Aspekte, wie die Einflüsse von der Kreativität, der naturwissenschaftlichen Gemeinschaft und außerwissenschaftlichen Faktoren zur Generierung neuen Wissens zusammengefasst.

Mikelskis-Seifert und Duit (2010) stellen, aufbauend auf den Arbeiten von McComas und Olson (1998) und Osborne et al. (2003), den Beiträgen von Höttecke (2004) sowie einem Übersichtsartikel von Lederman (2007), vier Aspekte auf der Metaebene über NOS in den Mittelpunkt (Mikelskis-Seifert & Duit, 2010, S. 5):

- **Die Vorläufigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse**
Der Begriff tentativ, der in diesem Zusammenhang in der englischsprachigen Literatur verwendet wird, steht hierbei im Zentrum. Naturwissenschaftliches Wissen kann sich durch neue Erkenntnisse ändern, bisheriges Wissen kann nur unter Vorbehalt als gültig angesehen werden.
- **Die Unterschiede in Theorien und Sichtweisen**
Neues naturwissenschaftliches Wissen unterliegt immer auch dem Einfluss von Ideologien, Werten und religiösen Überzeugungen. Daher können Wissenschaftler*innen aus einer ähnlichen Datenlage auch unterschiedliche Theorien und Vorstellungen mit unterschiedlichen Akzentuierungen entwickeln.
- **Die Grenzen wissenschaftlicher Forschungsstrategien**
Jede wissenschaftliche Erklärung ist nur innerhalb bestimmter Grenzen gültig.
- **Die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen**
Naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden mithilfe bestimmter Heuristiken, z.B. Beobachtung, Test von Hypothesen etc., gewonnen (vgl. Kapitel 2.2).

Kremer (2010) unterteilt, Osborne et al. (2003) folgend, aufgrund einer umfangreichen Literaturrecherche die Dimensionen von NOS in drei Bereiche: Der Bereich der „Vorstellungen über das naturwissenschaftliche Wissen“ (Kremer, 2010, S. 13) umfasst entsprechend der allgemeinen theoretischen Konzeption zu epistemologischen Überzeugungen von Hofer und Pintrich (1997) und den späteren Untersuchungen von Elder (2001) und Conley et al. (2004) die Kerndimensionen Sicherheit, Entwicklung, Einfachheit, Rechtfertigung und Herkunft des naturwissenschaftlichen Wissens, da domänenspezifische epistemologische Überzeugungen einen wichtigen Teilbereich des Verständnisses von NOS bilden (vgl. Sandoval und Reiser, 2004). Des Weiteren identifiziert sie den Bereich „Vorstellungen

über die Methode der Naturwissenschaften“ (Kremer, 2010, S. 13) mit den Kerndimensionen Zweck der Naturwissenschaften und Kreativität in den Naturwissenschaften, der ebenfalls die Handlungen und die damit verbundenen Handlungsziele beinhaltet, jedoch keiner Dimension der epistemologischen Vorstellung entspricht. Der dritte Bereich, die „Vorstellungen über Institutionen und soziale Handhabung“ (Kremer, 2010, S. 13), ist in der Fachliteratur nicht eindeutig definiert. So differieren die Ansichten der Expert*innen über diese Kerndimensionen stark, wobei von vielen Forscher*innen die Dimension „soziale und kulturelle Einflüsse auf die Naturwissenschaften“ (Kremer, 2010, S. 14) anerkannt wird (Lederman et al., 2002; Urhahne et al., 2008).

Mithilfe einer daran anschließenden Untersuchung, die die Vorstellungen von Jugendlichen zu NOS, deren Entwicklung und Stabilität, die Kontextabhängigkeit von NOS-Konzepten sowie die Beziehung zwischen NOS und Scientific Inquiry erfasst, konnte Kremer von zehn grundlegenden in der Forschungsliteratur häufig genannten Kerndimensionen von NOS sieben Dimensionen empirisch nachweisen. Diese sind in erster Linie epistemologische Vorstellungen wie sie von Hofer und Pintrich (1997) genannt werden; darüber hinaus kann mit dem von ihr entwickelten Messinstrument die Vorstellungen über den Zweck der Naturwissenschaften und die Kreativität in den Naturwissenschaften erhoben werden, die stärker auf das methodische Verständnis abzielen (Osborne et al., 2003).

Zusammenfassend zeigt sich also, dass sich trotz der großen Anzahl der Aspekte von NOS und den zum Teil sehr unterschiedlichen Schwerpunkten der Autor*innen Überschneidungen bei den Definitionen finden. Der hier vorliegenden Arbeit wurde die Definition von NOS nach Kremer (2010) zugrunde gelegt.

2.2. Theoretische Einordnung der experimentellen Kompetenz

2.2.1. Historische Entwicklung und Einordnung von Experimenten in die modernen Naturwissenschaften

Die Anfänge systematischer Erklärungsversuche der vom Menschen beobachteten Phänomene reichen bis in die Antike zurück (Moore, 1999). Dabei stützen sich die Überlegungen nicht auf gezielte Einflussnahme auf die Abläufe in der Natur, sondern hauptsächlich auf Gedankenexperimente sowie Beobachtungen (Puthz, 1988). Ziel dieser Überlegungen war es den Sinn und Ursprung aller Dinge zu erforschen.

Dies änderte sich als mit Francis Bacon und Galileo Galilei das bis dahin dogmatisch verstandene Wissen über die Natur grundlegend in Frage gestellt wurde. Sie begründeten damit die modernen Naturwissenschaften, die sich auf die funktionale Erklärung von Naturvorgängen fokussieren und experimentelle Erkenntnisgewinnung als zentralen Bestandteil verstehen (Ehmer, 2008; Klautke, 1978; Kremer & Keil, 1993; Puthz, 1988).

Das Experiment¹ als Frage an die Natur nimmt dadurch in den modernen Naturwissenschaften die zentrale Rolle der Erkenntnisgewinnung und -absicherung ein (Eschenhagen

¹Die Begriffe Experiment und Versuch werden entsprechend der uneindeutige Verwendung und in Anpassung an den internationalen Sprachgebrauch in dieser Arbeit synonym verwendet (Girwidz, 2015; Grygier & Hartinger, 2009; Hartinger et al., n. d.; Labudde & Metzger, 2019).

et al., 2006; Graf, 2004; Killermann et al., 2011; Puthz, 1988). Dabei ist der Prozess des Experimentierens als Methode der Erkenntnisgewinnung keineswegs eindeutig definiert und hängt in seiner Konzeption von dessen Untersuchungsobjekt und -situation ab (Eschenhagen et al., 2006; Lederman et al., 2002; Sandoval & Reiser, 2004). Zusätzlich nimmt die Beobachtung in bestimmten Bereichen, z.B. der Verhaltensbiologie oder der Astronomie, eine vergleichbare Stellung ein (Eschenhagen et al., 2006). Somit ist ein Experiment als einer „von mehreren systematischen Schritten eines naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs“ (Puthz, 1988, S. 11ff), der komplexe Problemlöseprozesse erfordert, zu verstehen (Ehmer, 2008; Klahr, 2000).

2.2.2. Wissenschaftsmethodische Einordnung von Experimenten

Die naturwissenschaftliche Arbeitsweise (Scientific Processes) besteht aus einer Vielzahl von Teilschritten, die entsprechend verschiedener Autor*innen unterschiedlich differenziert werden (Mikelskis-Seifert & Duit, 2010). So unterteilt beispielsweise Klopfer (1971) das Experimentieren in die Aspekte Beobachten und Messen, Erkennen einer Aufgabe und Suchen eines Lösungsweges, Interpretieren von Daten und Formulieren von Verallgemeinerungen, Aufstellen, Überprüfen und Revidieren eines theoretischen Modells und die handwerklichen Fertigkeiten (vgl. Duit und Treagust, 2003). Noch differenzierter erscheint der Ansatz aus dem Projekt SAPA – Science: A Process Approach, in dem die Methoden Wahrnehmen, Klassifizieren, mit Zahlen umgehen, Messen, raum-zeitliche Beziehungen herstellen, Kommunizieren, Voraussagen, Schlussfolgern, operational Definieren, Hypothesen formulieren, Daten interpretieren, Variablen kontrollieren und Experimentieren die Grundlage bilden (Häußler, 1973).

Nach Eschenhagen et al. (2006) ist das Experiment in der hypothetisch-deduktiven Methodik der Erkenntnisgewinnung ein wesentlichen Bestandteil der modernen Naturwissenschaften. Denn naturwissenschaftliche Erkenntnis wird durch das Wechselspiel von Experiment und Hypothese gewonnen, wobei der Verlauf der Erkenntnisgewinnung nicht vollständig im Voraus geplant werden kann (vgl. Feyerabend, 2013; Kircher, 2015b; Kuhn und Simon, 1976; Lakatos, 1974; Popper, 1976). Konkret wird das Experiment deduktiv aus einer Hypothese heraus entwickelt und so zu deren Bestätigung eingesetzt (Kremer & Keil, 1993). Dabei steht eine Fragestellung im Mittelpunkt, die auf dem „Stand der Forschung“, d.h. naturwissenschaftlichen Modellen und Theorien, auf „Intuition, Kreativität“ oder einer „Induktionsbasis in Form von Experimentalbefunden, Phänomenen etc.“ (Sommer & Pfeifer, 2018, S. 72) beruht. In diesem Sinne werden Theorien insbesondere an deren Gültigkeitsgrenzen durch Experimente gezielt herausgefordert. Ausgehend von der theoretischen Grundlage, d.h. dem Vorwissen über den Untersuchungsgegenstand sowie den theoretischen Zusammenhängen, kann eine untersuchbare Hypothese abgeleitet werden. Das Experiment wird entsprechend den Voraussetzungen so entworfen, dass es im Stande ist die Hypothese zu widerlegen oder Hinweise für deren Gültigkeit zu liefern. Hierbei gilt zu beachten, dass zur Überprüfung der Hypothesen auch Aspekte von NOS zur Geltung kommen. So baut die Konzeption eines Experiments stark auf der Kreativität der Naturwissenschaftler*innen auf. Ebenfalls werden übliche Forschungsansätze innerhalb der Wissenschaftsgemeinschaft als gültig anerkannt und das Experiment und

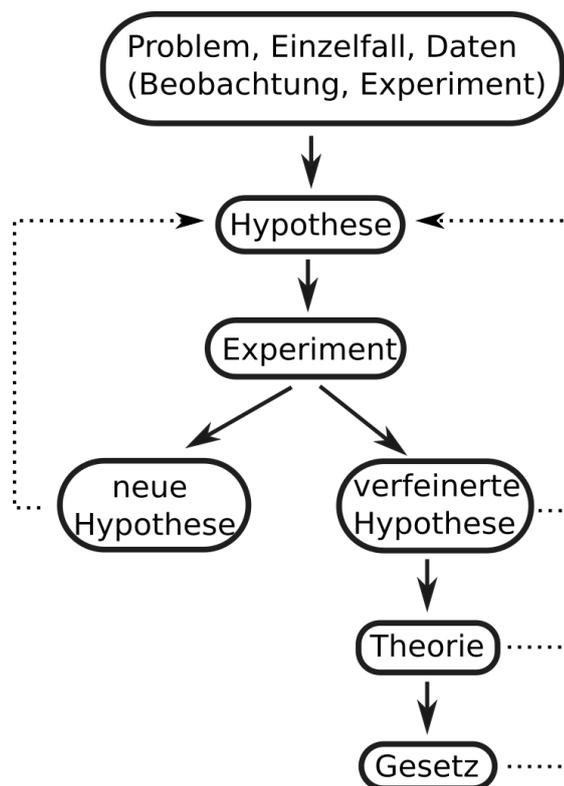


Abbildung 2.1.: Inquiry Cycle (nach Ehmer, 2008)
(gestrichelte Pfeile: deduktive Anteile; durchgezogene Pfeile: induktive
Anteile des Erkenntnisprozesses)

dessen Auswertung als Rechtfertigung der Schlussfolgerungen zur Hypothese angesehen. Das Ergebnis eines Experiments ergibt sich schließlich durch eine exakte Umsetzung der theoretischen Experimentplanung sowie der genauen Protokollierung von Vorgehen, Beobachtungen und Messungen. Die darauffolgende Auswertung der experimentellen Daten lassen eine Folgerung zu, inwiefern die Daten die untersuchte Hypothese stützen oder ihr widersprechen. Dabei kann ein Experiment zumeist eine Fragestellung nicht vollständig aufklären, so dass sich weitere Fragestellungen und damit neue oder detailliertere Hypothese ergeben, die wiederum im Experiment überprüft werden. Dementsprechend ist die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung keineswegs ein geradliniger, sondern viel mehr spiralförmiger Prozess, was im englischen Sprachraum durch den Begriff Inquiry Cycle verdeutlicht wird (vgl. Abbildungen 2.1 bis 2.4 und Ehmer, 2008; Günther, 2006).

Experimente können anhand der Haupt-Gütekriterien auf ihre Qualität hin beurteilt werden. So beschreibt die Reliabilität, dass das Experiment und vor allem dessen Ausgang reproduzierbar ist. Ebenfalls muss ein Experiment der Objektivität genügen, d.h. die Befunde der Untersuchung dürfen nicht von den Experimentierenden abhängen. Die Validität beschreibt, inwiefern ein Experiment tatsächlich den Effekt misst, den es zu

erfassen vorgibt (Bortz & Döring, 2007).

Dabei kommen im Prozess der Erkenntnisgewinnung fundamentale Prinzipien zum Tragen. So ist bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten „ein Verständnis von und Wissen über kontrollierte Experimente von zentraler Bedeutung“ (Brandenburger et al., 2020, S. 1). Da im naturwissenschaftlichen Kontext eindeutige Erkenntnisse bei der Erforschung von Kausalitäten von Variablen innerhalb eines naturwissenschaftlichen Systems nur dann gewonnen werden können, wenn eine Kontrolle und eine gezielte Modifikation der Variable möglich ist, stellt VKS eine der grundlegendsten Charakteristika beim Experimentieren dar (Ehmer, 2008; Eschenhagen et al., 2006; Killermann et al., 2011). Dabei bedeutet die Kontrolle von Variablen, dass in einem Experiment nur eine Variable variiert wird, während die restlichen konstant gehalten werden. In der hier vorliegenden Studie werden insbesondere die Teilfähigkeiten Identifizieren von Hypothesen und Planen von Experimenten betrachtet.

2.2.3. Kognitionspsychologische Einordnung von Experimenten

Entsprechend der Problemlösetheorie von Newell und Simon (1972) kann naturwissenschaftliches Experimentieren aus kognitionspsychologischer Perspektive als komplexer Problemlöseprozess verstanden werden. Dabei wird unter dem Begriff des Problemlösens ein erfolgreiches Planen und Durchführen von Schritten zur Bewältigung des Problems verstanden, bei dem die einzelnen Schritte zu Beginn nicht bekannt sind (Ehmer, 2008; Simon, 1999). Entsprechend kann der Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung als Problemlöseprozess betrachtet werden, bei dem ein ungeklärter Teil einer naturwissenschaftlichen Theorie den Ausgangszustand und eine neue Erkenntnis über den Aspekt der Theorie den Zielzustand markiert. Zum Erreichen dieses Zielzustands werden Problemlöseheuristiken genutzt, um von der Problematik zu deren Lösung zu gelangen. Diese Heuristiken stellen Strategien zur Verfügung, mit denen die Suche nach der Lösung von komplexeren Problemen vereinfacht werden kann. So vergleicht beispielsweise die Mittel-Ziel-Analyse (Means-Ends-Analysis) den Ausgangs- und erwünschten Zielzustand einer Problemsituation, damit geeignete Mittel zur Erreichung des Ziels (z.B. durch Definition von Teilzielen) gefunden werden können (Klahr, 2000). Mithilfe von konkreten Operatoren können dann diese Ziele erreicht werden (Ehmer, 2008; Simon, 1999). Eine Übersicht über Teilschritte beim Experimentieren gibt Tabelle 2.2.

Das SDDS-MODELL

Eine mögliche Beschreibung des gesamten Problemlöseprozesses liefert das SDDS-Modell (Scientific Discovery as Dual Search) von Klahr (2000). Dieses beruht auf einer Vielzahl von Studien, die verschiedene kognitive Aspekte bei der Gewinnung von naturwissenschaftlicher Erkenntnis untersuchten und entsprechende Komponenten des Erkenntnisprozesses identifizierten (Klahr, 2000).

Dementsprechend spannt das SDDS-Modell zur Erkenntnisgewinnung zwei Suchräume, den Hypothesenraum und den Experimentraum, auf. Während im Hypothesenraum die Suche nach Hypothesen (Search Hypothesis Space) im Mittelpunkt steht, werden im Experimentraum eben diese Hypothesen getestet (Test Hypothesis). Anschließend folgt eine