

## Nature of Science – Alter Hut oder relevanter denn je?

Ein Präsident, der sich in Reden und Tweets damit brüstet, wissenschaftliche Erkenntnisse nicht ernst zu nehmen; öffentliche Debatten, in denen wissenschaftlicher Konsens zugunsten von Einzelmeinungen verleugnet wird; Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler, die gegeben diese Trends sorgenvoll auf die Zukunft schauen (Harvey, 2016; Tollefson, 2020) – die vergangenen Jahre waren voll von diesen und ähnlichen Begebenheiten, die aus naturwissenschaftsdidaktischer Sicht nachdenklich stimmen. Sie trugen und tragen sich zu in den USA, einem Land, in dem *Nature of Science* bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts als Bildungsziel formuliert wurde (Central Association of Science and Mathematics Teachers, 1907) und dessen fachdidaktische Forschung zu *Nature of Science* bis in die 1950er Jahre zurückreicht (Lederman, 2007). Dies ist erschreckend, gegeben, dass ein adäquates Verständnis von *Nature of Science*, ein Verständnis von (Natur-)Wissenschaften also, dazu führen sollte, dass Menschen die Arbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, ihre Ziele, Werte und Vorgehensweisen und damit wissenschaftsbezogene Diskussionen besser einschätzen können.

Die beschriebene Problematik eines offensichtlich fehlenden Wissenschaftsverständnisses ist jedoch nicht auf die USA beschränkt. Auch in Deutschland konnten wir – in Zeiten der Pandemie besonders deutlich – ähnliche Verhaltensmuster beobachten, wie Stefan Rumann in seiner Einführung in das diesjährige Tagungsthema hervorhebt: „Wir alle haben auch die Bilder vor Augen und die Äußerungen von Mitmenschen im Ohr, die, scheinbar jeglichen aufgeklärten Zweck-Mittel-Rationalismus ignorierend, auf voraufgeklärte Reflexe zurückfallen, in denen ein Leichtmetall zur neuzeitlichen Hutware erhalten muss. [...] dies deprimiert, da allen Bildungsversuchen zum Trotz, sind diese Positionen doch sehr real.“ (Rumann, 2021). Auch hier wird deutlich, dass unser Anspruch als Naturwissenschaftsdidaktikerinnen und -didaktiker, Menschen durch naturwissenschaftliche Bildung in die Lage zu versetzen, gerade nicht in „voraufgeklärte Reflexe“ zurückzufallen, nicht mit der Wirklichkeit in Einklang steht. Insofern steht die Frage im Raum, woran die Bildungsversuche scheitern und welche Konsequenzen sich für unsere Arbeit als Naturwissenschaftsdidaktikerinnen und -didaktiker daraus ergeben. Ausgehend von einer Verortung des Konzepts *Nature of Science* in gängigen Rahmenmodellen naturwissenschaftlicher Bildung gibt der vorliegende Beitrag daher einen kurzen Überblick über Konzeptualisierungen von und Erkenntnis zu *Nature of Science*, um schließlich mögliche Probleme und Verbesserungsideen daraus abzuleiten.

### ***Nature of Science* als Teil naturwissenschaftlicher Bildung**

Ein Modell für *scientific literacy* (d.h. naturwissenschaftliche (Grund-)Bildung), das u.a. grundlegend für die PISA-Studien war und damit auch die Diskussionen innerhalb der deutschsprachigen Naturwissenschaftsdidaktik geprägt hat, wurde Ende der 1990er von Robert Bybee vorgeschlagen. Bybees Modell sieht ein Kontinuum naturwissenschaftlicher (Grund-)Bildung vor, in dem aufeinander aufbauende (Verständnis-)Stufen identifiziert werden (Bybee, 1997, S. 56ff.). Auf der untersten Stufe (*nominal scientific literacy*) können nach

Bybee Personen zwar Begriffe oder Problemstellungen als naturwissenschaftlich identifizieren, ihr Verständnis davon ist jedoch noch geprägt von Fehlvorstellungen. Auf der zweiten Stufe (*functional scientific literacy*) sind Personen bereits in der Lage, ihr naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, jedoch in sehr begrenztem Rahmen (z. B. beim Lesen eines Zeitschriftenartikels). Die dritte Stufe (*conceptual and procedural scientific literacy*) beschreibt ein umfassenderes Verständnis der verschiedenen naturwissenschaftlichen Konzepte und wie diese innerhalb des naturwissenschaftlichen Wissenskörpers zusammenhängen. Darüber hinaus haben Personen hier auch ein Verständnis von und über naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung. Auf der höchsten Stufe (*multidimensional scientific literacy*) haben Personen schließlich ein Verständnis über die Naturwissenschaften erreicht, das über das rein kanonische Wissen von Konzepten und Methoden hinausgeht und andere Perspektiven auf Naturwissenschaften (z.B. historische Entwicklung, Wechselspiel zwischen Naturwissenschaften und Gesellschaft) beinhaltet. Auf dieser Stufe verortet Bybee auch das Verständnis von *Nature of Science*.

Auch wenn Bybee (1997) selbst diese höchste Stufe als „exceptional“ (S. 61) bezeichnet, regt er dennoch an, Lernenden zumindest ein gewisses Verständnis auf diesem Niveau zu vermitteln. Roberts (2007) sieht sogar Konzeptualisierungen von naturwissenschaftlicher Grundbildung als Grundlage für zukünftige Bürgerinnen und Bürger besonders auf dieser Stufe der *multidimensional scientific literacy* verortet. Damit kommt dem Verständnis von *Nature of Science* als Bildungsziel für alle Lernenden eine besondere Bedeutung zu.

#### **Konzeptualisierungen von *Nature of Science* – die sogenannte „consensus view“**

Eine Konzeptualisierung von *Nature of Science*, auf die sich viele folgende Arbeiten beziehen, wurde von Norman Lederman (Lederman, 2006; 2007) vorgeschlagen. Ausschlaggebend für Lederman war die Perspektive der Schule. Er schlug vor, Aspekte von *Nature of Science* aufzunehmen, die in der Schule lehr- und lernbar sind, die grundsätzlich unstrittig sind, und für ein verantwortliches Handeln als zukünftige Bürgerinnen und Bürger in der Gesellschaft relevant sind (Lederman, 2006, S. 304), nämlich:

- „Scientific knowledge is tentative (subject to change)“
- Scientific knowledge is „empirically based (based on and/or derived at least partially from observations of the natural world)“
- Scientific knowledge is „subjective (theory-laden, involves individual or group interpretation)“
- Scientific knowledge „necessarily involves human inference, imagination, and creativity (involves the invention of explanations)“
- Scientific knowledge is „socially and culturally embedded (influenced by the society/culture in which science is practiced)“
- „distinction between observations and inferences“
- „functions of, and relationships between, scientific theories and laws“ (S. 304).

In seiner Konzeptualisierung hebt Lederman insbesondere hervor, dass sich diese Aspekte auf naturwissenschaftliches *Wissen* beziehen und *Nature of Science* nicht zu verwechseln sei mit *Scientific Inquiry* also dem *Prozess*, derartiges Wissen zu generieren (Lederman, 2006; 2007). Mit dieser Unterscheidung soll insbesondere verdeutlicht werden, dass sich Ledermans Verständnis von *Nature of Science* auf eine Metaebene bezieht und nicht prozedurales Wissen im

Sinne von zum Beispiel Untersuchungen planen, durchführen und auswerten adressiert (Lederman, 2006). Dennoch sollten Schülerinnen und Schüler Metawissen nicht nur über naturwissenschaftliches Wissen, sondern auch über den Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung erlernen, das einige Jahre später unter den Begriff *Nature of Scientific Inquiry* (NOSI) gefasst wird (Schwartz et al., 2008; Lederman et al., 2014). Wie bei der Konzeptualisierung von *Nature of Science* (s.o.) wurden auch für die Konzeptualisierung von *Nature of Scientific Inquiry* Aspekte herangezogen, die für Schülerinnen und Schüler erlernbar und relevant sein sollten (Lederman et al., 2014; S. 68):

- „Scientific investigations all begin with a question and do not necessarily test a hypothesis”
- „There is no single set of steps followed in all investigations (i.e. there is no single scientific method)”
- „Inquiry procedures are guided by the question asked”
- „All scientists performing the same procedures may not get the same results”
- „Inquiry procedures can influence results”
- „Research conclusions must be consistent with the data collected”
- „Scientific data are not the same as scientific evidence”
- „Explanations are developed from a combination of collected data and what is already known” (S. 68ff).

Neben den normativ-theoretisch vorgeschlagenen Konzeptualisierungen aus der Arbeitsgruppe um Lederman, hat sich die Forschung *Nature of Science* auch aus anderer Perspektive genähert. So analysierten beispielsweise McComas und Olson (1998) acht bildungspolitische Dokumente (wie Standards oder Curricula) aus fünf (englischsprachigen) Ländern. Im Vordergrund ihrer Analyse stand die Frage, wie in diesen Dokumenten *Nature of Science* adressiert wird. McComas und Olson identifizierten dabei insgesamt 46 Aspekte, die sie zu Gruppen zuordneten: Philosophical Insights, Statements and Assumptions; Sociological Insights, Statements and Assumptions; Psychological Insights, Statements and Assumptions; und Historical Insights, Statements and Assumptions. Die folgenden zwölf Aspekte fanden sich in mindestens sechs der untersuchten acht Dokumente (McComas & Olson, 1998, S. 44ff):

- Scientific knowledge is tentative
- Science relies on empirical evidence
- Scientists require replicability
- Scientists require truthful reporting
- Science is an attempt to explain phenomena
- Scientists are creative
- Science is part of social tradition
- Science has played an important role in technology
- Scientific ideas have been affected by their social and historical milieu
- Changes in science occur gradually
- Science has global implications
- New knowledge must be reported clearly and openly

Einen noch anderen Ansatz wählten Osborne et al. (2003). Sie führten eine Delphi-Studie zur Frage durch, welche Aspekte von *Nature of Science* in der Schule vermittelt werden sollten. Als Expertinnen und Experten beteiligten sich 23 Personen aus den Gebieten Naturwissenschaften, Wissenschaftsgeschichte, Wissenschaftsphilosophie, Wissenschaftssoziologie und

Wissenschaftskommunikation. Über drei Befragungsrunden hinweg stellte sich ein Konsens zu zehn Themen unter den befragten Expertinnen und Experten ein. Diese Themen umfassten:

- Science and Certainty
- Analysis and Interpretation of Data
- Scientific Method and Critical Testing
- Hypothesis and Prediction
- Creativity
- Science and Questioning
- Cooperation and collaboration in the development of scientific knowledge
- Science and Technology
- Historical Development of Scientific Knowledge
- Diversity of Scientific Thinking

Tabelle 1 listet die Aspekte, die in den Arbeiten von Lederman (2006), Lederman et al. (2014), McComas & Olson (1998) und Osborne et al. (2003) identifiziert wurden. Trotz der unterschiedlichen Zugänge – normativ-theoretische Herleitung, Textanalyse und Delphi-Befragung – zeigen diese Konzeptualisierungen einen deutlichen Überlapp (s. auch Neumann & Kremer, 2013). So beinhalten alle Konzeptualisierungen, dass naturwissenschaftliches Wissen grundsätzlich vorläufig ist und einer empirischen Fundierung bedarf, und dass naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung ein kreativer Prozess im Rahmen eines sozialen Gefüges ist (s. Tab. 1). Die Gegenüberstellung macht aber auch deutlich, dass einzelne Aspekte nicht in allen Listen aufgenommen sind. So ergab sich beispielsweise in Osborne et al.s (2003) Delphi-Studie die Vielfältigkeit naturwissenschaftlichen Denkens als Konsensthema, die sich zwar in Lederman et al.s (2014) Aspekten widerspiegelt, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen nicht streng einer einzigen Methode folgen und insbesondere nicht zwangsläufig dem Testen von Hypothesen dienen, die Textanalyse von McComas und Olson (1998) ergab diesen Aspekt jedoch nicht. Umgekehrt sind die Aspekte, dass Naturwissenschaften globale Implikationen haben oder dass es Standards beim Publizieren naturwissenschaftlicher Erkenntnisse gibt, lediglich bei McComas und Olson aufgeführt, nicht aber in den anderen Konzeptualisierungen.

Die Autorinnen und Autoren dieser Arbeiten heben jeweils hervor, dass ihre Konzeptualisierungen mit Bedacht interpretiert werden sollten. So weisen beispielsweise McComas und Olson (1998) darauf hin, dass sie die Häufigkeit, mit der einzelne Aspekte in den verschiedenen untersuchten Dokumenten gefunden wurden, nicht als Wichtigkeit der Aspekte interpretiert werden sollte. Ähnlich argumentieren auch Osborne et al. (2003), dass die als Konsens identifizierten Aspekte vor dem Hintergrund der von ihnen gewählten Konsenskriterien betrachtet werden müssen. Und auch Lederman und Kollegen betonen ausdrücklich, dass die Aspektlisten zu *Nature of Scientific Knowledge* und *Nature of Scientific Inquiry* als Vorschlag zu sehen sind und räumen ein, dass andere Konzeptualisierungen möglich sind (z.B. Lederman, 2006, 2007; Lederman et al., 2014). Des Weiteren ist wichtig hervorzuheben, dass die einzelnen Aspekte nicht als voneinander getrennt, im Sinne einzelner Fakten, interpretiert werden sollten, sondern eher in einem komplexen Wechselspiel zueinander stehen (z.B. Osborne et al., 2003).

Tab. 1. Gegenüberstellung gängiger Konzeptualisierungen von Nature of Science (in Anlehnung an Neumann & Kremer, 2013).

McComas & Olson (1998)	Osborne et al. (2003)	NOS (Lederman, 2006)	NOSI (Lederman et al., 2014)
Scientific knowledge is tentative	Science and Certainty	Scientific knowledge is tentative	
Science relies on empirical evidence	Analysis and Interpretation of Data	distinction between observations and inferences / empirically-based	research conclusions must be consistent with the data collected / scientific data are not the same as scientific evidence
Scientists require replicability and truthful reporting	Scientific Method and Critical Testing		
Science is an attempt to explain phenomena	Hypothesis and Prediction		inquiry procedures are guided by the question asked
Scientists are creative	Creativity / Science and Questioning	necessarily involves human inference, imagination, and creativity	
Science is part of social tradition	Cooperation and collaboration in the development of scientific knowledge	subjective	
Science has played an important role in technology	Science and Technology		
Scientific ideas have been affected by their social and historical milieu	Historical Development of Scientific Knowledge	is socially and culturally embedded	explanations are developed from a combination of collected data and what is already known
	Diversity of Scientific Thinking		scientific investigations all begin with a question and do not necessarily test a hypothesis / there is no single set of steps followed in all investigations
Changes in science occur gradually			
Science has global implications			
New knowledge must be reported clearly and openly		functions of, and relationships between, scientific theories and laws	
			inquiry procedures can influence results
			all scientists performing the same procedures may not get the same results

### Vorstellungen zu *Nature of Science*

Neben den verschiedenen Ansätzen, *Nature of Science* zu konzeptualisieren, hat die Forschung der vergangenen Jahrzehnte auch umfassende Arbeiten zu Schülervorstellungen in diesem Themengebiet hervorgebracht (Übersichten bieten z.B. Höttecke & Hopf, 2018, oder Lederman, 2007). Insbesondere die auf Basis der Konzeptualisierung aus der Gruppe um Lederman (s.o.) entwickelten offenen Fragebögen *Views about Nature of Science* (VNOS, Lederman et al., 2002) und *Views about Scientific Inquiry* (VASI, Lederman et al., 2014) wurden mehrfach und weltweit in verschiedenen Altersgruppen eingesetzt, um die Ansichten von Lernenden zu erfassen. Besonders bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang ein kürzlich durchgeführtes Projekt, dessen Ziel es war, eine Baseline der Ansichten von Schülerinnen und Schülern über *Nature of Scientific Inquiry* über mehrere Länder hinweg zu generieren. In der ersten Studie, die den Fokus auf der 7. Jahrgangsstufe hatte, wurden die Ansichten von 2.634 Schülerinnen und Schülern aus 18 Regionen bzw. Ländern erfasst (Lederman et al., 2019). An der Folgestudie, die den Fokus auf der 12. Jahrgangsstufe hatte, beteiligten sich sogar 3.917 Schülerinnen und Schüler aus 20 Regionen bzw. Ländern (Lederman et al., 2021).

Tab. 2. Prozentuale Anteile der Schüler/innen-Antworten im VASI-Fragebogen, die als *naiv (N)*, *mixed (M)* oder *informed (I)* bewertet wurden (Stichprobe Deutschland).

NOSI-Aspekt	7. Jgst. (N = 96)			12. Jgst. (N = 88)		
	N	M	I	N	M	I
Starts with a question	41.7	28.1	26.0	48.9	14.8	35.2
Multiple Methods	20.8	64.6	13.5	6.8	62.5	30.7
Same procedures may not yield same results	62.5	20.8	15.6	51.1	9.1	39.8
Procedures influence results	39.6	31.3	25.0	35.2	28.4	36.4
Conclusions must be consistent with data	28.1	19.8	52.1	5.7	21.6	67.0
Procedures are guided by the questions asked	34.4	16.7	47.9	13.6	9.1	77.3
Data and evidence are not the same	45.8	26.0	9.4	20.5	46.6	33.0
Conclusions are developed from data and prior knowledge	8.3	47.9	39.6	0.0	21.6	78.4

Die Ergebnisse der deutschen Teilnehmenden an beiden Studien sind in Tab. 2 dargestellt. Es fällt auf, dass sich die Antworten in der 12. Jahrgangsstufe tendenziell zu *mixed* und *informed* verschoben haben. In der 7. Jahrgangsstufe schnitten die Schülerinnen und Schüler am besten bezüglich des Aspekts *Conclusions must be consistent with data* ab, in der 12. Jahrgangsstufe bezüglich des Aspekts *Conclusions are developed from data and prior knowledge*. Interessanterweise wurden sowohl in der 7. als auch in der 12. Jahrgangsstufe mehr als die Hälfte der Antworten zum Aspekt *Same procedures may not yield same results* als *naiv* eingestuft. Insgesamt deuten diese Ergebnisse damit auf ein *naiv* empiristisches Verständnis von Schülerinnen und Schülern hin, nach dem „wahre“ Erkenntnisse in der Natur verborgen liegen und von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern gefunden werden. Ein Verständnis darüber, dass Daten interpretiert werden müssen und Forscherinnen und Forscher beispielsweise vor dem Hintergrund verschiedener Theorien zu verschiedenen Aussagen kommen können, scheint dagegen Schülerinnen und Schülern, auch in der Oberstufe, noch schwer zu fallen.

Die Ergebnisse dieser Studie decken sich mit typischen Schülervorstellungen, wie sie beispielsweise von Höttecke und Hopf (2018) in ihrem Review aufgeführt werden, u.a.:

- „Wissenschaftler sind passive Datenerfasser“ (S. 275)
- „Gesetze sind gereifte Theorien“ (S. 277)
- „Naturwissenschaftliches Wissen entspricht der Wirklichkeit“ (S. 278)
- „Eine einzelne Messung gibt einen wahren Wert“ (S. 279)
- „Wissenschaftlicher Konsens beruht auf Einsicht in Fakten und nicht auf Übereinstimmung“ (S. 280)
- „Außerwissenschaftliche Faktoren können Naturwissenschaft nicht beeinflussen“ (S. 280)
- „Soziale Aspekte sind in den Naturwissenschaften nur wichtig, wenn die Fakten unklar sind“ (S. 280).

Nicht nur auf Seiten der Schülerinnen und Schüler sind inadäquate Vorstellungen zu *Nature of Science* zu verzeichnen, Untersuchungen mit Lehrkräften ergaben ein ähnlich ernüchterndes Bild (s. z.B. das Review von Lederman, 2007). Gegeben die recht fachnahe Ausbildung von Naturwissenschaftslehrkräften im Rahmen der universitären Phase, könnte man hoffen, dass Einblicke in naturwissenschaftliche Forschungsmethodik – beispielsweise im Rahmen von Praktika – zu einem angemesseneren Verständnis führen könnte. Dies scheint jedoch leider nicht der Fall zu sein. So begleiteten beispielsweise Schwartz et al. (2004) angehende Lehrkräfte während eines mehrwöchigen Forschungspraktikums und musste feststellen, dass sich das Verständnis von *Nature of Science* nur bei denjenigen Teilnehmenden weiterentwickelte, die explizit über einzelne Aspekte reflektierten und Perspektivwechsel vollzogen. Selbst die Rolle eines Forschenden zu übernehmen scheint also nicht ausreichend zu sein, um automatisch ein adäquates Verständnis über *Nature of Science* zu entwickeln.

### **Vermittlungsansätze**

Um ein Verständnis von *Nature of Science* zu fördern, wurden verschiedene Vermittlungsansätze vorgeschlagen (einen umfassenden, aktuellen Überblick gibt McComas, 2020). Beispielsweise können von den Lernenden selbst durchgeführte naturwissenschaftliche Untersuchungen als Ausgangspunkt für das Lernen über *Nature of Science* herangezogen werden (z.B. Carey et al., 1998; Schwartz et al., 2004). Mithilfe einer Einheit für die 7. Jahrgangsstufe, in der die Schülerinnen und Schüler eigenständig Theorien aufstellten, Untersuchungen durchführten und ihre Theorien reflektieren und ggf. anpassten, konnten Carey et al. (1998) die zunächst vorliegenden naiv empiristischen Vorstellungen ablösen und ein eher konstruktivistisches Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung befördern. Einen anderen Ansatzpunkt liefern historische Fallbeispiele (z.B. Höttecke et al., 2012; McComas, 2008). Im Projekt HIPST wurden beispielsweise für Fallbeispiele aus der Physikgeschichte Lernmaterialien entwickelt (Höttecke et al., 2012). Als zentrales didaktisches Element setzten die Autorinnen und Autoren dabei sogenannte „reflection corners“ ein, die zu einer expliziten Reflexion des konkreten Fallbeispiels und damit einhergehend allgemeiner Charakteristika von naturwissenschaftlichem Wissen und naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung anregen sollten. Ein weiterer Ansatz sind schließlich sogenannte „generische“ Materialien (Lederman & Abd-El-Khalick, 1998), die entwickelt wurden, um gezielt einzelne *Nature of Science* Aspekte zu adressieren. Die Aktivität „Tricky Tracks“ (Lederman & Abd-El-Khalick, 1998, S. 85ff) regt beispielsweise eine explizite Auseinandersetzung mit den Begriffen „Beobachtung“ und „Interpretation“ und mit der Rolle des eigenen Vorwissens bei der Interpretation

von Daten an. Dazu wird den Lernenden eine sukzessiv erweiterte Abbildung zweier vermeintlicher Tierspuren gezeigt und mit ihnen darüber diskutiert, welche Beobachtungen bzw. welche Interpretationen diese Abbildungen zulassen. Allen drei Ansätzen ist gemein, dass die *Nature of Science* Aspekte explizit thematisiert werden, und nur durch explizite Reflexion ein adäquates Verständnis effektiv vermittelt werden kann (Lederman, 2007).

### **Kritik an der „consensus view“**

Obwohl die Konzeptualisierung von *Nature of Science* durch Aspektlisten breit rezipiert wurden (und immer noch werden), werden regelmäßig kritische Stimmen laut (z.B. Alters, 1997a,b; Matthews, 2012). So stellt Alters (1997a) beispielsweise in einer Befragung von Philosophinnen und Philosophen fest, dass diese dem Großteil der Aspekte nicht zustimmen, insbesondere wenn sie als Fakt verstanden werden. Auch Hodson und Wong (2017) kritisieren, dass die Aspekte zu leicht wortwörtlich genommen werden und dann sogar zu einem eher inadäquaten Verständnis von *Nature of Science* führen können (wenn beispielsweise die grundsätzliche Vorläufigkeit als Beliebigkeit naturwissenschaftlichen Wissens missinterpretiert wird). Die Gefahr, dass die Aspekte als Listen von Fakten betrachtet werden, die lediglich auswendig gelernt und wiedergegeben werden müssen, sehen auch Matthews (2012) und Allchin (2011). Matthews schlägt alternativ vor, statt von *Nature of Science* eher von *Features of Science* zu sprechen, um die Heterogenität und Kontextualität der Aspekte besser hervorzuheben. Allchin (2011) stellt in seinem „Whole Science“-Ansatz ein funktionales Verständnis von *Nature of Science* in den Vordergrund, das sich beispielsweise dann zeigt, wenn Lernende ihr Verständnis von *Nature of Science* in lebensweltlichen Situationen nutzen müssen, um beispielsweise naturwissenschaftsbezogene Aussagen und Informationen einzuschätzen. Anhand der beschriebenen Kritik wird deutlich, dass die Darstellung in Form von Aspekt- bzw. Aussagenlisten problematisch ist. Zu leicht können sie als auswendig zu lernende Sammlung von Fakten missinterpretiert oder zu wortwörtlich genommen werden – auch wenn dies sicher nicht ursprünglich so intendiert war.

### **Der Reconceptualized Family Resemblance Approach to Nature of Science**

Eine neuere Konzeptualisierung von *Nature of Science* ist der sogenannte *Reconceptualized Family Resemblance Approach to Nature of Science* („RFN“; Erduran & Dagher, 2014, Dagher & Erduran, 2016). Erduran und Dagher (2014) orientieren sich dabei an Irzik und Nola (2011), die vorschlugen, *Nature of Science* aus der Perspektive von Wittgensteins Familienähnlichkeit zu betrachten. Grundidee ist dabei, dass die verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen und Teilbereiche eine Reihe Eigenschaften miteinander teilen, sich jedoch auch in einigen Eigenschaften unterscheiden können. Vor diesem Hintergrund schlagen Irzik und Nola (2011) vier Kategorien vor, die *Nature of Science* widerspiegeln: (1) Activities, (2) Aims & Values, (3) Methodologies & Methodological Rules, und (4) Products. In einer späteren Arbeit ergänzen die Autoren vier weitere Kategorien: (5) professional activities, (6) scientific ethos, (7) social certification and dissemination of scientific knowledge und (8) social values of science (Irizik & Nola, 2014). Erduran und Dagher (2014) greifen nun diesen Ansatz auf und führen drei weitere Kategorien ein, die sie aus Sicht der Vermittlung eines Verständnisses von *Nature of Science* in der Schule als wichtig erachten: (9) social organizations and interactions, (10) political power structures und (11) financial systems. Diese Kategorien ordnen Erduran und Dagher (2014) in einem sogenannten „Wheel“ an (Abb. 1). Dabei bilden die Kategorien (1)-(4) (bei Erduran & Dagher, 2014 leicht umbenannt) ein kognitiv-epistemisches, die Kategorien (5)-(11) ein sozial-institutionelles System von Eigenschaften.

Die von Erduran und Dagher (2014) noch ergänzten Kategorien (9)-(11) sind bewusst im äußersten Ring lokalisiert, um die Beziehungen zwischen Gesellschaft und Wissenschaft zu verdeutlichen. Mit dieser Konzeptualisierung zielen Erduran und Dagher (2014; Dagher & Erduran, 2016) darauf, die an der *consensus view* geäußerte Kritik zu adressieren. So bringen sie darin unter anderem Aspekte zusammen, die sich auf die Prozesse (vgl. Aspekte von *Nature of Scientific Inquiry*) und die Produkte (d.h. das Wissen; vgl. Aspekte von *Nature of Science/Scientific Knowledge*) und zudem auch noch auf Wissenschaft als soziales Gefüge beziehen, wodurch diese Konzeptualisierung deutlich holistischer erscheint als die Aspektlisten aus früheren Arbeiten. Darüber hinaus gehen sie mit der Angabe von Kategorien weg von einer Darstellung durch Aussagen und begegnen damit der Gefahr, dass diese als Fakten, die auswendig gelernt werden müssen, verstanden werden. Allerdings bedarf es einer weiteren Ausdifferenzierung, was genau die einzelnen Kategorien jeweils bedeuten.

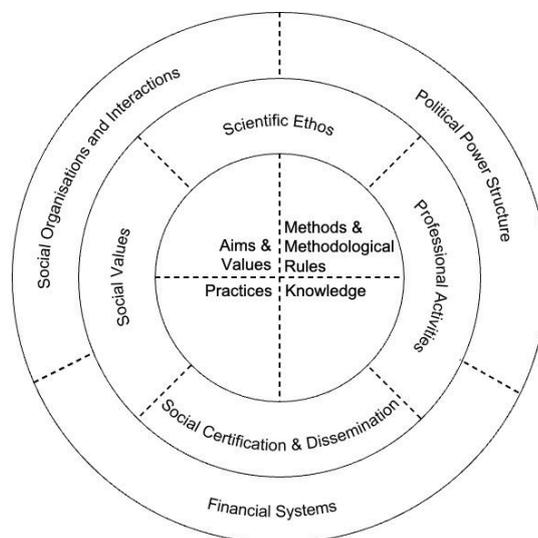


Abb. 1. Das RFN-Wheel nach Erduran & Dagher (2014).

Wie das Modell konkret auf einen Kontext angewendet werden kann, zeigen Dagher und Erduran (2016, S. 157) am Beispiel der Entdeckung der DNA auf. Dabei benennen Erduran und Dagher Begebenheiten aus der Geschichte der Entdeckung der DNA und zeigen auf, wie sich darin einzelne Aspekte ihrer Konzeptualisierung widerspiegeln. Im Folgenden wird auf Basis dieser Vorarbeiten kurz angerissen, wie in diesem Sinne *Nature of Science* in der Schule Schülerinnen und Schülern erfahrbar gemacht werden kann. Dazu werden Ansätze vorgeschlagen, die darauf zielen, Schülerinnen und Schülern die Relevanz von *Nature of Science*-Aspekten aufzuzeigen und ihnen das eher abstrakt-theoretische Konzept so näher zu bringen.

#### ***Nature of Science* Aspekte Schülerinnen und Schülern erfahrbar machen**

Zu den kognitiv-epistemischen Aspekten führen Dagher und Erduran (2016, S. 157) beispielsweise an, dass Watson und Crick in einem Artikel eine Zeichnung der DNA und ein Bild von Franklins Röntgenstrukturanalyse haben und sie damit die naturwissenschaftliche Arbeitsweise des Modellierens bzw. Repräsentierens und des Beobachtens angewendet haben („Practices“). Um diese Aspekte Schülerinnen und Schülern erfahrbar zu machen, kann z.B. ein von

Braun et al. (2011) vorgeschlagenes Modellexperiment durchgeführt werden. Darin wird die Doppelhelix der DNA durch eine Springfeder dargestellt, an der Licht eines Lasers gebeugt wird. Das entstehende Beugungsmuster kann dann verglichen werden mit dem veröffentlichten Bild aus Franklins Röntgenstrukturanalyse. Dieses Modellexperiment verdeutlicht Schülerinnen und Schüler nicht nur das Prinzip einer Röntgenstrukturanalyse; Lehrkräfte können es auch nutzen, um das Interpretieren von Daten und das Modellieren als typische naturwissenschaftliche Herangehensweisen zu thematisieren.

Die sozial-institutionellen Aspekte betreffend, weisen Dagher und Erduran (2016, S. 157) darauf hin, dass zwar gewisse wissenschaftliche Standards eingehalten wurden, Watson und Crick jedoch Franklins Recht auf geistiges Eigentum verletzen („Scientific Ethos“). Der Frage, wer an der Entdeckung der Doppelhelixstruktur beteiligt war und in welcher Beziehung die Beteiligten und ihre Arbeiten zueinanderstanden, könnten Schülerinnen und Schüler beispielsweise im Rahmen einer Internetrecherche nachgehen. Dort finden sich entsprechende Informationen<sup>1</sup>. Auf dieser Grundlage kann dann mit den Lernenden diskutiert werden, ob es in der Wissenschaft (ethische) Standards gibt (bzw. geben muss), welche dies sind, inwieweit sie im Rahmen der Entdeckung der DNA-Struktur eingehalten oder verletzt wurden. Eine solche Diskussion sollte auch eine Reflexion der Glaubwürdigkeit der herangezogenen Quellen im Internet beinhalten. Die Thematik des Diebstahls geistigen Eigentums ist durchaus als für Schülerinnen und Schüler interessant und relevant anzunehmen, da sie auch in anderen Kontexten wie der Musik oder Literatur, oder auch dem Verfassen von Hausarbeiten eine Rolle spielen. Durch derartige Querverbindungen kann den Lernenden erfahrbar gemacht werden, dass Naturwissenschaften ein menschliches Unterfangen sind, in dem – wie in jedem anderen sozialen Gefüge – Fragen von beispielsweise der Ethik oder Standards ausgehandelt werden und sich diese Aushandlungen auch über die Zeit verändern können. Möchte man erreichen, dass die Schülerinnen und Schüler selbst erleben, was Diebstahl geistigen Eigentums bedeutet, könnte die Lehrkraft in einer Arbeitsphase, in der Kleingruppen an der Beantwortung einer Frage arbeiten, gezielt einer Gruppe die Ergebnisse einer anderen verraten. Im Anschluss sollte diskutiert werden, inwieweit es sich hier um ein akzeptables Vorgehen handelt; diese Situation könnte auch Anlass geben, dass die Klasse für sich ethische Standards beim gemeinsamen Lernen aushandelt.

Zum Wechselspiel zwischen Naturwissenschaften und Gesellschaft führen Dagher und Erduran (2016, S. 157) an, dass die Entdeckung der DNA-Struktur auch Machtstrukturen innerhalb der Wissenschaft verdeutlicht und Franklin z.B. Opfer von Sexismus wurde – in ihrem Institut und durch Crick. Da auch jüngst Fragen von Gender und Sexismus Thema gesellschaftlicher Diskussionen waren und sind, könnten derartige Einblicke in die Wissenschaftsgeschichte bei Schülerinnen und Schülern auf besonderes Interesse stoßen. Vor allem Cricks Tagebuch, in dem er selbst recht eindrücklich seine Meinung von Franklin als Frau darlegt, kann hier herangezogen werden:

Sie tat ganz bewußt nichts, um ihre weiblichen Eigenschaften zu unterstreichen. Trotz ihrer scharfen Züge war sie nicht unattraktiv, und sie wäre sogar hinreißend gewesen, hätte sie auch nur das geringste Interesse für ihre Kleidung gezeigt. Das tat sie nicht. Nicht einmal einen Lippenstift, dessen Farbe vielleicht mit ihrem glatten schwarzen Haar kontrastiert hätte, benutzte sie, und mit

---

<sup>1</sup> z.B. <https://www.br.de/wissen/james-watson-dna-dns-francis-crick-genforschung-gene-strickleiter-100.html> oder <https://www.mpg.de/11968981/rosalind-franklin>

ihren einunddreißig Jahren trug sie so phantasielose Kleider wie nur irgendein blaustrümpfiger englischer Teenager. Insofern konnte man sich Rosy gut als das Produkt einer unbefriedigten Mutter vorstellen, die es für überaus wünschenswert hielt, daß intelligente Mädchen Berufe erlernten, die sie vor der Heirat mit langweiligen Männern bewahrten. (Watson, 1984, S. 28)

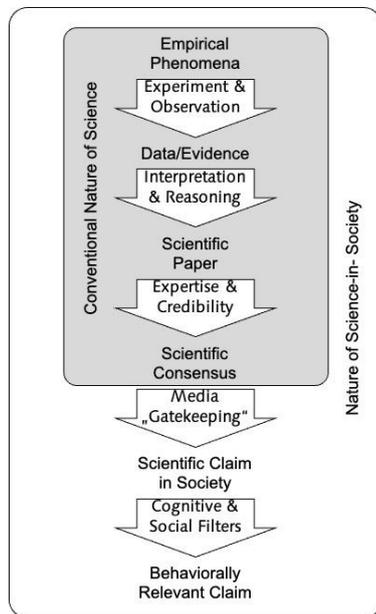
Auszüge und Berichte wie dieser können als Ausgangspunkt für eine Diskussion mit den Schülerinnen und Schülern genutzt werden, inwieweit auch heute noch Sexismus und (politische) Machtstrukturen innerhalb der Naturwissenschaften zum Tragen kommen und was mögliche Lösungen sein könnten, ungerechtes Verhalten zu verhindern. Zur Anbindung an die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler könnten – ähnlich des Aushandelns ethischer Standards (s.o.) – im Klassenverband Regeln zum respektvollen, nichtdiskriminierenden zwischenmenschlichen Umgang untereinander aufgestellt werden.

### **Die Rolle der Medien im Wissenschaftsgefüge**

Auch wenn der RFN-Ansatz von Erduran und Dagher (2014; Dagher & Erduran, 2016) eine deutlich holistischere Konzeptualisierung darstellt als die Repräsentation von *Nature of Science*-Aspekten durch Listen und auch wenn darin mit dem äußeren Ring Bezüge zwischen Naturwissenschaft und Gesellschaft berücksichtigt sind (Abb. 1), wird jedoch ein Aspekt nicht adressiert, der in der Einleitung angeklungen ist: Die Rolle der Medien. Durch die Allgegenwärtigkeit von Informationen in der heutigen Zeit und durch die Tatsache, dass sich jeder an naturwissenschaftsbezogenen Diskussionen im Internet beteiligen kann, ist es für Laien schwierig einzuschätzen, welche Autorinnen bzw. Autoren und damit auch welche Informationen vertrauenswürdig sind. Dies kann zum „Death of Expertise“ führen, wie Nichols (2017) auf Grundlage eines Austauschs auf Twitter illustriert, in dem Dan Kaszeta, Mitglied des Royal United Services Institute und ausgewiesener Experte im Bereich der Verteidigung gegen ABC-Waffen, von der zitierten Fragestellerin nicht als solcher (an-)erkannt wird:

„I can't find the chemical and physical properties of sarin gas [sic] someone please help me,“ the student tweeted. Kaszeta offered his help. He corrected her by noting that Sarin isn't a gas and that the word should be capitalized. [...] „yes the [expletive] it is a gas you ignorant [expletive]. sarin is a liquid & can evaporate ... shut the [expletive] up.“ [...] „Google me. I'm an expert on Sarin. Sorry for offering to help.“ (S. 83f)

Gegeben diese Problematik sollten Schülerinnen und Schüler also unbedingt darauf vorbereitet werden, ihnen zugängliche Informationen und die Expertise deren Autorinnen und Autoren einschätzen zu können. Dies erfordert auch – wenn nicht sogar zuvorderst – ein Verständnis der Rolle der Medien im Wissenschaftsgefüge und sich daraus ergebender Problematiken. Expertinnen und Experten bei Medienauftritten als solche zu erkennen wird zum Beispiel durch die sogenannte *false balance* erschwert (Dearing, 1995): In den Medien werden Expertinnen und Experten mit gegensätzlicher Meinung eingeladen, um so die behandelte Thematik scheinbar objektiv und aus allen Blickwinkeln betrachten zu können; dies führt jedoch dazu, dass beide Positionen gleichberechtigt und gleichermaßen anerkannt wirken – auch wenn eine Position eventuell von einem Großteil der *scientific community* gar nicht anerkannt wird. Insbesondere bei risikobeladenen Fragestellungen (wie z.B. dem Klimawandel oder dem Abwägen von Nutzen und Nebenwirkungen von Medikamenten oder Impfstoffen) kann eine derar-



wissenschaftlicher Aussagen in der Gesellschaft bzw. vom Individuum eine Rolle spielen. Dazu gehört einerseits die „Gatekeeper“-Funktion der Medien, durch die beispielsweise beim Streben nach einer objektiven Berichterstattung die Problematik des *false balance* zum Tragen kommen kann. Andererseits spielen kognitive und soziale Filter bei der Rezeption eine Rolle, wie beispielsweise der *confirmation bias*, also die Tatsache, dass Menschen bevorzugt Informationen aufnehmen und vertrauen, die ihren Ansichten, Überzeugungen oder Erwartungen gerade widersprechen (Höttecke & Allchin, 2020).

Abb. 2. NOSIS-Modell nach Höttecke & Allchin (2020, S. 645).

Im Unterricht könnten Lehrkräfte zur Thematisierung derartiger Aspekte mit den Schülerinnen und Schülern Ausschnitte von Talkshows mit (natur-)wissenschaftlichen Themen analysieren und diskutieren. So ließe sich beispielsweise an der Sendung „Markus Lanz“ vom 13.07.2021, bei der die Politikerin Sahra Wagenknecht, die Journalistin Anja Maier, die Virologin Prof. Helga Rübsamen-Schaeff und die Medizinethikerin Prof. Alena Buyx zu Gast waren und die damals aktuelle Corona-Lage (u.a. Lockerungen und Impfungen) diskutierten, die Problematik des *false bias* herausarbeiten. Auch könnte analysiert werden, wie die einzelnen Gäste argumentieren, worin sich ihr Argumentationsstil voneinander unterscheidet, und welche Ausführungen von den Schülerinnen und Schülern wie aufgenommen werden. Zur Sensibilisierung, dass Menschen bei der Rezeption von Informationen auch kognitiven und sozialen Filtern unterliegen, könnten die Lehrkräfte ihre Schülerinnen und Schüler anregen zu reflektieren, wie deren individuellen Haltungen und Erfahrungen zusammen mit den verschiedenen in der Talkshow geäußerten Positionen beeinflussen, wie sie selbst entscheiden würden, ob beispielsweise Kinder geimpft werden sollten oder nicht.

**Alter Hut und doch relevanter denn je**

tige, unausgewogene mediale Darstellung (natur-)wissenschaftlicher Erkenntnisse zu Verunsicherung bei Laien führen (vgl. Dixon & Clarke, 2013). Da ein überwiegender Großteil der Menschen den Diskurs zu (natur-)wissenschaftlichen Fragestellungen nicht in den typischen Outlets der *scientific community* (wie in wissenschaftlichen Zeitschriften oder auf wissenschaftlichen Tagungen) verfolgt, sondern die Erkenntnisse medial aufbereitet rezipiert, ist ein Verständnis des Prozesses dieser medialen Aufbereitung wichtig für eine Einschätzung der zur Verfügung gestellten Informationen.

Entsprechend schlagen Höttecke und Allchin (2020) mit ihrer Konzeptualisierung von *Nature of Science in Society* (NOSIS) vor, die Medien und ihre Rolle im Wissenschaftsgefüge explizit zu berücksichtigen (Abb. 2). NOSIS beinhaltet demnach zusätzlich zu den konventionellen Aspekten von *Nature of Science* auch Aspekte, die bei der Rezeption naturwissenschaftlicher Aussagen in der Gesellschaft bzw. vom Individuum eine Rolle spielen. Dazu gehört einerseits die „Gatekeeper“-Funktion der Medien, durch die beispielsweise beim Streben nach einer objektiven Berichterstattung die Problematik des *false balance* zum Tragen kommen kann. Andererseits spielen kognitive und soziale Filter bei der

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Naturwissenschaftsdidaktik auf eine lange Tradition der Forschung zum Thema *Nature of Science* zurückblicken kann. In den vergangenen Jahrzehnten wurden diverse Konzeptualisierungen des Konstrukts vorgeschlagen, Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern wie auch von Lehrkräften erhoben und Ansätze erarbeitet, *Nature of Science* im Unterricht zu vermitteln. Lederman (2007) fasst plakativ zusammen, welche Erkenntnisse auf Grundlage dieser Arbeiten als generalisierbar angenommen werden können:

- K-12 students do not typically possess “adequate” conceptions of NOS
- K-12 teachers do not typically possess “adequate” conceptions of NOS
- Conceptions of NOS are best learned through explicit, reflective instruction as opposed to implicitly through experiences with simply “doing” science
- Teachers’ conceptions of NOS are not automatically and necessarily translated into classroom practice
- Teachers do not regard NOS as an instructional outcome of equal status with that of “traditional” subject matter outcomes. (S. 869)

Dass das Thema *Nature of Science* damit für die Naturwissenschaftsdidaktik ein abgearbeitetes Feld darstellt, wäre jedoch ein Fehlschluss. Vielmehr ist festzustellen, dass trotz vieler Jahre naturwissenschaftsdidaktischer Forschung zum Thema *Nature of Science* das Problem fehlenden bzw. inadäquaten Wissenschaftsverständnisses auf Seiten der Schülerinnen und Schüler, der Lehrkräfte und auch der allgemeinen Öffentlichkeit noch nicht gelöst ist. Die naturwissenschaftsdidaktische Community hat bislang keinen Konsens finden können, welche der vorgeschlagenen Konzeptualisierungen (oder zumindest welche Kern-Aspekte) für welche Altersgruppen und/oder Vermittlungszwecke herangezogen werden sollte. Gleichmaßen liegt auch zu Unterrichtsansätzen oder zu Erhebungsinstrumenten im Bereich *Nature of Science* eher ein Diskurs als ein Konsens über eine Standardherangehensweise vor. Insgesamt scheinen Schülerinnen und Schüler nicht ausreichend darauf vorbereitet, mit Expertenmeinungen umzugehen oder mit Unsicherheit und Risiko belastete naturwissenschaftliche Aussagen einzuschätzen – dabei zeigt die aktuelle Pandemie allzu eindrücklich, wie wichtig dies wäre.

Die weitere naturwissenschaftsdidaktische Forschung zum Thema *Nature of Science* sollte daher zum einen berücksichtigen, dass die einzelnen Aspekte von *Nature of Science* wichtig sind, wichtiger aber ein holistisches Verständnis von *Nature of Science* ist. Um ein holistisches Verständnis von *Nature of Science* zu vermitteln wird jedoch nicht ausreichen, alle Aspekte zu (deklarativ) unterrichten, stattdessen sollte *Nature of Science* beim naturwissenschaftlichen Lernen durch entsprechende Aktivitäten *erfahrbar* gemacht werden. Schließlich sollte die weitere Forschung in diesem Gebiet berücksichtigen, dass *Nature of Science* im klassischen Sinne nicht ausreicht für eine naturwissenschaftliche Grundbildung im Sinne der Vorbereitung auf gesellschaftliche Teilhabe. Vielmehr müssten aktiv Kriterien mit den Lernenden erarbeitet werden, wie zugängliche Informationen beurteilt und zum Erreichen naturwissenschaftsbasierter Entscheidungen herangezogen werden können.

#### **Literatur**

- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education* 95, 518–542.
- Alters, B.J. (1997a). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 39–55.
- Alters, B. J. (1997b). Nature of science: A diversity or uniformity of ideas? *Journal of Research in Science Teaching* 34(10), 1105–1108.

- Braun, G., Tierney, D. & Schmitzer, H. (2011). How Rosalind Franklin Discovered the Helical Structure of DNA: Experiments in Diffraction. *The Physics Teacher* 49, 140-143.
- Bybee, R. W. (1997). Towards an understanding of scientific literacy. In W. Gräber & C. Bolte (Hrsg.), *Scientific Literacy: An International Symposium* (S. 37-68), Kiel: IPN.
- Central Association for Science and Mathematics Teachers. (1907). A consideration of the principles that should determine the courses in biology in secondary schools. *School Science and Mathematics*, 7, 241–247.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., Unger, C. (1989). ‘An experiment is when you try it and see if it works’: A study of grade 7 students’ understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education* 11(5), 514-529.
- Dagher, Z. R., & Erduran, S. (2016). Reconceptualising the nature of science: why does it matter? *Science Education* 25(1), 147–164.
- Dearing, J.W. (1995). Newspaper coverage of maverick science: creating controversy through balancing. *Public Understanding of Science* 4(4), 341–361.
- Dixon, G.N. & Clarke C.E. (2013). Heightening Uncertainty Around Certain Science: Media Coverage, False Balance, and the Autism-Vaccine Controversy. *Science Communication* 35(3), 358–382.
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories. Dordrecht: Springer.
- Harvey, C. (2016). A Trump team member just compared climate science to the flat-Earth theory. *Washington Post* (14.12.2016). <https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2016/12/14/a-trump-team-member-just-compared-climate-science-to-the-flat-earth-theory/>
- Hodson, D., & Wong, S.L. (2017). Going Beyond the Consensus View: Broadening and Enriching the Scope of NOS-Oriented Curricula. *Canadian Journal of Science, Mathematics, and Technology Education* 17(1), 3-17.
- Höttecke, D., & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, 104, 641-666.
- Höttecke, D., Henke, A. & Rieß, F. (2012). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education* 21(9), 1233-1261.
- Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 271-287). Heidelberg: Springer.
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education* 20, 591–607.
- Irzik, G. & Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. In: M. Matthews, *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (S. 999–1021). Springer.
- Lederman, N. G. (2006). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning and teacher education* (301-317). Dordrecht: Springer.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (831-879). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Lederman, N. & Abd-El-Khalick, F. (1998). Avoiding De-Natured Science: Activities that Promote Understandings of the Nature of Science. In W.F. McComas (Hrsg.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (83-126). Dordrecht: Kluwer
- Lederman, N. & Abd-El-Khalick, F. & Bell, R. & Schwartz, R. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners’ Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*. 39. 497-521.

- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A., & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry- The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65–83.
- Lederman, J.S., Lederman, N., Bartels, S., Jimenez, J., Akubo, M., Aly, S., Bao, C., Blanquet, E., Blonder, R., Bologna Soares de Andrade, M., Bunting, C., Cakir, M., EL-Deghaidy, H., ElZorkani, A., Enshan, L., Gaigher, E., Guo, S., Hakanen, A., Hamed Al-Lal, S., ... Zhou, Q. (2019). An international collaborative investigation of beginning seventh grade students' understandings of scientific inquiry: Establishing a baseline. *Journal of Research in Science Teaching*. 56(10):1-30
- Lederman, J.S., Lederman, N., Bartels, S., Jimenez, J., Acosta, K., Akubo, M., Aly, S., de Andrade, M., Atanasova, M., Blanquet, E., Blonder, R., Brown, P., Cardoso, R., Castillo-Urueta, P., Chaipidech, P., Concannon, J., Doğan, Ö., EL-Deghaidy, H., Elzorkani, A., ... Wishart, J. (2021). International collaborative follow-up investigation of graduating high school students' understandings of the nature of scientific inquiry: is progress Being made?, *International Journal of Science Education*, 43(7), 991-1016.
- Matthews, M. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to feature of science (FOS). In M. S. Khine (Ed.), *Advances in nature of science research: Concepts and methodologies* p. 3-26. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- McComas, W.F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17(2-3), 249–263.
- McComas, W. F. (Hrsg.) (2020). *Nature of Science in Science Instruction – Rationales and Strategies*. Cham: Springer.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (1998). The nature of science in international science education standard documents. In W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (41-52). Dordrecht: Kluwer.
- Neumann, I. & Kremer, K. (2013). Nature of Science und epistemologische Überzeugungen – Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 211-234.
- Nichols, T. (2017). *The death of expertise: The campaign against established knowledge and why it matters*. New York: Oxford University Press.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “Ideas about Science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching* 40(7), 692-720.
- Roberts D (2007) Scientific literacy/science literacy. In S. Abell & N. Lederman (Hrsg.) *Handbook of research on science education* (S. 729-780). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rumann, S. (2021). GDCP-Rundbrief 2/2021. 20.07.2021.
- Schwartz, R. & Lederman, N. & Crawford, B. (2004). Developing Views of Nature of Science in an Authentic Context: An Explicit Approach to Bridging the Gap Between Nature of Science and Scientific Inquiry. *Science Education*. 88(4), 610 - 645.
- Schwartz, R., Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2008). An instrument to assess views of scientific inquiry: The VOSI questionnaire. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Baltimore, MD.
- Tollefson, J. (2020). How Trump damaged science — and why it could take decades to recover. *Nature* 586, 190-194. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02800-9>
- Watson, J.D. (1984). *Die Doppel-Helix*. Reinbek: Rowohlt.