

Wissenschaftsverständnis von Physiker:innen
– Zwei Fallbeispiele aus einer Lehrkräftefortbildung –

Linda Zwick, Rita Wodzinski

Universität Kassel, Didaktik der Physik, Heinrich-Plett-Str. 40, 34132 Kassel
linda.zwick@uni-kassel.de

Kurzfassung

Im Kasseler SFB ELCH (Sonderforschungsbereich Extremes Licht für die Analyse und Kontrolle von molekularer Chiralität) ist ein Transferprojekt eingebunden, das sich die Förderung des Wissenschaftsverständnisses von Lehrkräften zum Ziel gesetzt hat. Dabei werden drei zentrale Aspekte von Nature of Science (NOS) besonders berücksichtigt: (1) die Erkenntnisgewinnung in naturwissenschaftlicher Forschung, (2) das Zusammenspiel von Theorie und Experiment in der Physik und (3) die Zusammenarbeit und Kollaboration unter Physiker:innen.

An der letzten Lehrkräftefortbildung im Projekt waren eine Theoretische Physikerin und ein Experimentalphysiker aktiv beteiligt. Neben dem Präsentieren von Einblicken in ihre jeweilige Forschung tauschten sie sich mit an der Fortbildung teilnehmenden Lehrkräften und untereinander aus. Im Beitrag wird rekonstruiert, wie sich das Wissenschaftsverständnis der beiden Physiker:innen im Verlauf der Fortbildung entwickelt. Die Ergebnisse zeigen, dass Lehrkräfte-Fortbildungen zu NOS auch für Forschende eine Gelegenheit bieten, ihre fachliche Praxis zu reflektieren und in didaktische Kontexte zu überführen.

1. Motivation

Wie denken Physiker:innen über ihre eigene Disziplin nach? Was können sie für ihr eigenes Wissenschaftsverständnis gewinnen, wenn sie an einer Physiklehrkräftefortbildung zu Nature of Science (NOS) mitwirken? In Zwick und Wodzinski (2024) haben wir das Forschungsvorhaben zu NOS-Vorstellungen von Physiklehrkräften sowie das Konzept einer entsprechenden Fortbildung vorgestellt. Im Zuge der Auswertung der letzten Fortbildung zeigte sich, dass nicht nur bei den teilnehmenden Physiklehrkräften, sondern auch bei den mitwirkenden Physiker:innen interessante Entwicklungen im Wissenschaftsverständnis auftraten.

Im Folgenden geben wir Einblicke in das Wissenschaftsverständnis einer Theoretischen Physikerin und eines Experimentalphysikers sowie dessen Veränderung im Verlauf einer Fortbildung, an der beide am 18. Juni 2024 an der Universität Kassel teilgenommen haben. Die Vorstellungen von Physiker:innen über ihre eigene Disziplin ist aus physikdidaktischer Perspektive relevant, da ihre Vorstellungen und Auffassungen die universitäre Lehre und damit auch die Ausbildung zukünftiger Physiker:innen und Physiklehrkräfte und auf diesem Wege auch die von Schüler:innen beeinflussen (Schwartz & Lederman, 2008). Zudem können die Vorstellungen von Fachwissenschaftler:innen ein Korrektiv für fachdidaktische Perspektiven auf NOS darstellen. Eine weitere Motivation stellt die grundsätzliche Frage dar, inwieweit Fachwissenschaftler:innen von der Zusammenarbeit mit der Fachdidaktik auch inhaltlich profitieren.

2. Forschungsstand und theoretischer Rahmen

Bereits seit den 1980er Jahren befassen sich empirische Studien mit den Vorstellungen von Lehrenden und Wissenschaftler:innen über Naturwissenschaften und wissenschaftliche Praxis. Dabei zeigen sich unterschiedliche Sichtweisen auf NOS, also auf grundlegende Charakteristika von Wissenschaft – etwa deren epistemologische Prinzipien oder naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen. Rowell und Cawthron (1982) konnten zeigen, dass sich Wissenschaftsverständnisse disziplinär unterscheiden: Naturwissenschaftliches universitäres Personal tendierte in ihrer Studie eher zu einem falsifikationistischen Wissenschaftsbild nach Popper, während Lehrende anderer Fachbereiche andere Akzente setzten. Pomeroy (1993) unterschied wie Rowell und Cawthron in ihrer Studie zwischen „traditionellen“ Vorstellungen – etwa Objektivität, Faktensammlung, Empirismus – und „nicht-traditionellen“ Vorstellungen, die Aspekte wie Intuition, kulturelle Bedingtheit oder die Historie wissenschaftlicher Erkenntnis einbeziehen. Eine ihrer zentralen Hypothesen lautete, dass sich mit wachsender Sozialisation in der naturwissenschaftlichen Forschung eher traditionelle Konzepte verfestigen. Spätere Studien wie die von Schwartz (2012) zeichnen ein differenzierteres Bild. Wissenschaftler:innen äußern demnach kontextbezogene Vorstellungen von Wissenschaft, die sich nicht allein durch disziplinäre Zugehörigkeit erklären lassen, sondern wesentlich durch individuelle Erfahrungen und ihre jeweilige Forschungsgemeinschaft geprägt sind. Schwartz betont dabei, dass eine

systematische Auseinandersetzung mit der eigenen Forschung erforderlich sei, um zu verstehen, wie Wissenschaftler:innen über Wissenschaft denken. Dies erfordert einen bewussten Perspektivwechsel: weg vom praktischen Forschen hin zur Reflexion über den Prozess der Erkenntnisgewinnung und die Bedingungen, unter denen wissenschaftliches Wissen entsteht – also über die Rolle theoretischer Modelle, des Forschungsgruppenalltags und methodischer Vorgehensweisen (vgl. Schwartz & Crawford, 2004). Solche metakognitiven Prozesse sind im Forschungsalltag eher selten (Elby & Hammer, 2001), können aber gerade im Kontext von Lehrer:innenbildung und Wissenschaftskommunikation eine zentrale Bedeutung gewinnen.

Um diese Reflexionsprozesse analytisch einzuordnen, wird in diesem Beitrag eine begriffliche Differenzierung vorgenommen: Unter NOS werden fachdidaktisch entwickelte Konzepte zum Wesen von Naturwissenschaften verstanden. Wissenschaftsverständnis hingegen meint das individuelle Verständnis von Wissenschaft, wie es von Einzelpersonen – hier Physiker:innen – im jeweiligen Kontext geäußert wird.

3. Fortbildungskontext

Das Thema NOS mit Blick auf den Physikunterricht war Gegenstand einer ganztägigen Fortbildung an der Universität Kassel am 18. Juni 2024. Ziel der Fortbildung war es, zentrale Aspekte naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung sowie Formen der Zusammenarbeit in der physikalischen Forschung – insbesondere im Zusammenspiel von theoretischer und experimenteller Physik – zu beleuchten und anknüpfend an vorliegende didaktische Zugänge Unterrichtsmaterialien für den Physikunterricht zur Bearbeitung dieser Themen zu entwickeln.

An der Veranstaltung nahmen zwei Physiklehrkräfte, zwei Examensabsolventen des Physik-Lehramtsstudiums sowie zwei Physiker:innen teil. Diese wurden aktiv in das Fortbildungsprogramm eingebunden und gewährten zudem den anderen Teilnehmenden unmittelbare Einblicke in ihre Forschungsarbeiten. Mit einer kurzen Präsentation und einer Laborführung stellten sie ihre jeweiligen Arbeitsweisen, Arbeitsorte, Herausforderungen und kooperativen Prozesse im Forschungsalltag vor.

Inhaltlich setzte sich die Fortbildung aus mehreren aufeinander abgestimmten Modulen zusammen, bei denen die Physiker:innen unterschiedliche Rollen und Aufgaben übernommen haben (s. Abbildung 1).

4. Forschungsfragen und -daten

Ziel des Beitrags ist es, das Wissenschaftsverständnis der teilnehmenden Physiker:innen – einer theoretischen Physikerin und eines Experimentalphysikers – im Rahmen ihrer Mitwirkung an einer Physiklehrkräftefortbildung zu Nature of Science (NOS) zu rekonstruieren und dessen Entwicklung im Verlauf der

Veranstaltung nachzuvollziehen. Im Mittelpunkt stehen dabei die folgenden Forschungsfragen:

- (LF1) Wie denken Physiker:innen über ihre eigene Disziplin nach?
 (LF2) Was können sie für ihr eigenes Wissenschaftsverständnis gewinnen, wenn sie an einer Physiklehrkräftefortbildung zu NOS mitwirken?

Zur Beantwortung dieser Fragen werden folgende Daten herangezogen: (a) Einzelinterviews mit der theoretischen Physikerin und dem Experimentalphysiker, die vor und nach der Fortbildung durchgeführt wurden (Pre- und Post-Interviews) und (b) Concept Maps, die im Verlauf der Fortbildung in mehreren Phasen gemeinsam und einzeln erstellt und weiterentwickelt wurden. Darüber hinaus existieren (c) Videomitschnitte der Concept Mapping-Arbeitsphasen sowie der Präsentationen und Diskussionen der finalen Concept Maps sowie (d) ergänzend: Beobachtungsprotokolle der Fortbildungsleitung und Videoaufzeichnungen interaktiver Elemente (z. B. Gruppenarbeiten zur Unterrichtsvideogestaltung). Die Daten (a) und (b) sind zentral, da diese bereits vertiefte Einblicke in die individuellen Vorstellungen der Physiker:innen und in deren Entwicklung im Rahmen des Fortbildungsprozesses ermöglichen. Die Auswertung erfolgt rekonstruktiv und vergleichend entlang der beiden Leitfragen.



Abb. 1: Ablauf der Fortbildung. Darstellung verschiedener Module sowie Rollen der Beteiligten: Die theoretische Physikerin (pink) und der Experimentalphysiker (grau) gestalteten die Laborführung und die Projektpräsentation. In den weiteren Phasen arbeiteten sie gemeinsam mit den anderen Teilnehmenden (blau). Eigene Darstellung.

5. Vorstellung der Fallbeispiele

Nachfolgend werden die beiden an der Fortbildung mitwirkenden Physiker:innen fallweise porträtiert. Zur besseren Lesbarkeit werden die beiden Physiker:innen mit sprechenden Pseudonymen bezeichnet: Thea (für die Theoretische Physikerin) und Emil (für den Experimentalphysiker).

5.1. Thea (Theoretische Physikerin)

Thea ist eine promovierte Theoretische Physikerin mit mehrjähriger Erfahrung in Forschung und Lehre. Nach dem Abitur an einem Gymnasium in Baden-Württemberg studierte sie Physik an einer Universität in Baden-Württemberg (Bachelor of Science) und arbeitete währenddessen als studentische Hilfskraft sowohl an der Universität als auch an einem Fraunhofer-Institut. Ihr Masterstudium absolvierte sie an einer norddeutschen Universität. In dieser Zeit engagierte sie sich als Nachhilfelehrerin und Kursleiterin in Mathematik; zudem besuchte sie eine Lehrveranstaltung zur Wissenschaftsphilosophie (»Philosophy of Science«). Anschließend sammelte sie weitere berufliche Erfahrungen in Vollzeitanstellung an einem Fraunhofer-Institut. Parallel dazu wirkte sie in Outreach-Projekten der norddeutschen Universität für Schüler:innen mit. Ihre Promotion schloss sie im Bereich Theoretische Physik ab. Nach der Promotion wechselte sie als Post-Doc nach Kassel.

5.2. Emil (Experimentalphysiker)

Emil ist Promotionsstudent in der Experimentalphysik und befindet sich in der Abschlussphase. Nach dem Abitur an einem bayrischen Gymnasium begann er sein Physikstudium (Bachelor of Science) an einer Universität in Thüringen. Während des Bachelorstudiums belegte er aus persönlichem Interesse eine Philosophievorlesung zum Thema „Wahrheit“. Nach dem Abschluss sammelte er erste Berufserfahrungen im Rahmen eines Auslandspraktikums in einem solartechnischen Betrieb in Spanien. Anschließend setzte er sein Studium an der Universität Kassel im Masterstudiengang Physik fort und begann dort im Anschluss auch seine Promotion.

6. Auswertung der Fallbeispiele

Für die Auswertung der Fallbeispiele werden aus den Einzelinterviews mit den Physiker:innen Antworten auf folgende ausgewählte Fragen vorgestellt:

- (1) Was zeichnet deiner Meinung nach naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen aus?
- (2) Was charakterisiert deiner Meinung nach die Experimentalphysik und die Theoretische Physik jeweils?
- (3) Wie würdest du das Verhältnis von Experimentalphysik und Theoretischer Physik beschreiben?

Zudem werden Concept Maps (eine erarbeitete Concept Map in Einzelarbeit zu Beginn des Fortbildungstages und gemeinsame Entwicklung einer

Concept Map beider Physiker:innen über den Fortbildungstag hinweg) ausgewertet.

Der Fokus der Frage (1) liegt auf den naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, die im Rahmen von NOS im engen Bezug zur Erkenntnisgewinnung stehen.

Die zweite und dritte Fragestellung nehmen die Charakteristika der physikalischen Arbeitsbereiche von Thea und Emil sowie die Zusammenarbeit beider Bereiche in den Blick.

Die Concept Maps geben einen Gesamtüberblick über die strukturellen Zusammenhänge des Wissenschaftsverständnisses von Thea und Emil zur „Physik als Naturwissenschaft“.

6.1. Wissenschaftsverständnis von Thea: Pre, Post im Vergleich

Im Folgenden wird das in den Pre- und Post-Interviews geäußerte Wissenschaftsverständnis der theoretischen Physikerin Thea zu den oben genannten Aspekten und Fragen gegenübergestellt.

6.1.1. Zu (1) Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen

Im Pre-Interview betont Thea zunächst die erkenntnistheoretische Dimension naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Ausgangspunkt ihrer Überlegungen ist dabei der Wunsch der Naturwissenschaft, „Fakten zu schaffen“, wobei sie zugleich einschränkt: „Fakten sind halt irgendwie aber auch subjektiv.“ (Pre, ZM 19). Aus dieser Spannung heraus richtet sie den Fokus auf die grundlegende Frage, wie Wissen überhaupt entsteht. Sie reflektiert, dass exaktes Wissen über die reale Welt prinzipiell nicht möglich sei. Vielmehr sei es ein gradueller Prozess, bei dem Beobachtungen so lange und so oft wiederholt und geprüft würden, bis sie als relativ sichere Fakten gelten. Damit rückt sie die Vorläufigkeit und Unsicherheit wissenschaftlicher Aussagen in den Vordergrund und beschreibt Naturwissenschaft als an intersubjektiver Bestätigung orientierten, epistemisch vorsichtigen Prozess.

Im Post-Interview zeigt sich eine Ausdifferenzierung und Konkretisierung des Verständnisses naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen. Ausgangspunkt ihrer Beschreibung bleibt ein faktenbasiertes, auf Objektivität ausgerichtetes Wissenschaftsverständnis. Hierbei betont sie nun methodische Prinzipien wie Sorgfalt, Skepsis, vorsichtiges Vorgehen und systematische Recherche als wesentliche Elemente wissenschaftlicher Praxis. Bezüglich naturwissenschaftlicher Denkweisen hebt sie Logik und Kreativität besonders hervor. Bezüglich letzterem sagt sie: „[...] kamen wir dann auch noch drauf, dass Inspiration natürlich auch wichtig ist für die Theorie. Das hat uns schon sehr angesprochen, dass Kreativität eben auch wichtig ist.“ (Post, ZM 44).

Auffallend ist zudem ihre explizite Thematisierung des strukturierten Aufbaus von Wissen innerhalb der

Disziplin Physik. Als pragmatisches Ziel naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen formuliert sie schließlich, „zur Problemlösung zu kommen, ohne viel Aufwand zu betreiben“.

6.1.2. Zu (2) und (3) Charakterisierung von Experimentalphysik und Theoretischer Physik sowie dessen Verhältnis zueinander

Im Pre-Interview beschreibt Thea, dass sie die starke institutionelle Aufteilung zwischen Experimentalphysik und Theoretischer Physik an deutschen Universitäten als besonders auffällig empfindet. Sie hat diese bereits im Studium wahrgenommen. Sie schildert, dass sie die Vermittlung von Inhalten in der Experimentalphysik als ein „Unterrichten von oben herab“ erlebt hat. Im Vordergrund standen dabei Fragen wie: „Was gibt es eigentlich alles? Und warum machen wir das?“ Im Gegensatz dazu habe sie die Vorlesungen in Theoretischer Physik so erlebt, dass man sich dort Zeit nahm, „die Sachen mal herzuleiten und nichts vom Himmel fällt.“

Mit zunehmender Forschungserfahrung hat sich ihr Bild der Experimentalphysik und Theoretischen Physik deutlich verändert. Bereits im Pre-Interview betont sie die wechselseitige Abhängigkeit beider Bereiche: „Ein Theoretiker kann niemals alleine was Echtes forschen.“ (Pre, ZM 53). Theoretiker:innen seien darauf angewiesen, dass empirische Daten und experimentelle Validierung ihre Modelle stützen. Umgekehrt verweist sie auf die Herausforderungen im experimentellen Alltag: Experimentator:innen hätten oft wenig Zeit oder keine angemessene Ausbildung, um sich selbst vertieft mit theoretischen Fragestellungen zu ihren experimentellen Forschungsbereichen auseinanderzusetzen. Sie formuliert pointiert: „Theoretiker BRAUCHEN die Experimentalos.“ (Pre, ZM 59).

Im Post-Interview entwickelt die Physikerin dieses Verständnis weiter. Sie kritisiert die institutionelle Trennung nun explizit als „sehr künstlich“ und reflektiert, dass diese sich historisch und strukturell verfestigt habe („Also die ist von oben herab gegeben worden - schon sehr früh, auch im Deutschen“). In der Forschungspraxis dagegen ergebe diese Trennung wenig Sinn, da Experimente auf theoretischen Konzepten basieren und ihre Interpretation ohne Theorie nicht möglich sei: „Die Experimente basieren auf den Theorien [...] und die Interpretation der Ergebnisse funktioniert nur mit der Theorie.“ (Post, ZM 23).

Darüber hinaus beschreibt sie die unterschiedlichen „Arbeitslogiken“ beider Bereiche. Experimentator:innen könnten die reale Komplexität physikalischer Systeme nicht ignorieren und benötigten daher ein solides Verständnis der relevanten theoretischen Zusammenhänge. Theoretiker:innen hingegen könnten sich im Modellierungsprozess bewusster Vereinfachungen bedienen („[...] während der Theoretiker das einfach postuliert“), was ihnen ermöglicht, komplexe Probleme rechnerisch zu bearbeiten, aber auch Grenzen in der praktischen Anwendbarkeit mit sich

bringe. Sie fasst dies zusammen als „ganz andere Arbeitsrealität“ beider Gruppen: „Der eine hat die Probleme und kommt nicht drum herum, und der andere kann sich alle Probleme wegdenken, kommt dann aber nicht sehr weit.“ (Post, ZM 25).

Insgesamt wird deutlich, dass die Physikerin im Verlauf der Fortbildung und mit wachsender Forschungserfahrung ein zunehmend differenziertes Verständnis der Charakteristika und wechselseitigen Bezüge von Experimental- und Theoretischer Physik entwickelt. Dabei verschiebt sich ihr Blick von einer zunächst strukturell vermittelten Differenzierung hin zu einer funktional und kognitiv integrierten Betrachtung beider Forschungsbereiche.

6.2. Concept Map von Thea

Theas Concept Map (vgl. Abbildung 2) spiegelt ein deutlich prozessorientiertes Verständnis von Physik als Naturwissenschaft wider. Theorie und Experiment werden in der Map als wechselseitig aufeinander angewiesene und miteinander kooperierende Bereiche dargestellt. Beide Felder sind dabei gleichermaßen auf Erkenntnisgewinnung ausgerichtet, die als zentrales Ziel physikalischen Arbeitens erscheint.

Naturwissenschaftliche Denk- und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen werden als konstitutive Bestandteile der Physik positioniert. Besonders betont Thea die Rolle von Zusammenarbeit im wissenschaftlichen Prozess: Erkenntnisgewinn ist in ihrer Darstellung untrennbar mit Kooperation zwischen Theorie und Experiment sowie mit kommunikativen Praktiken innerhalb der Fachgemeinschaft verbunden. In

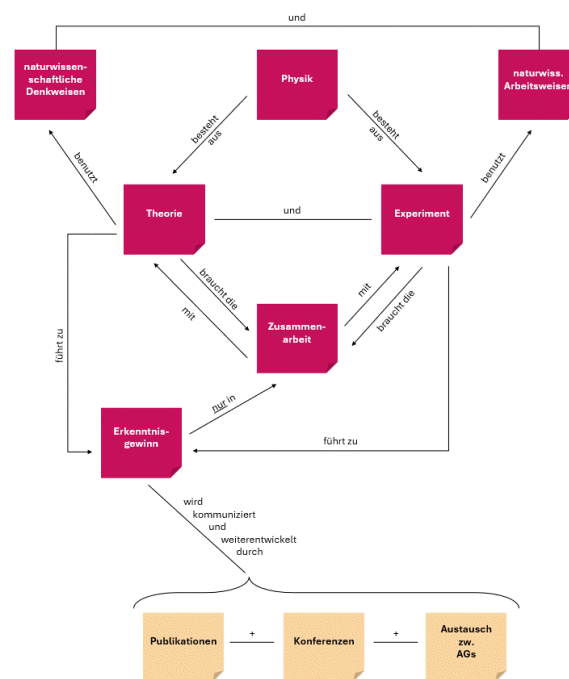


Abb. 2: Concept Map zum Thema „Physik als Naturwissenschaft“ der theoretischen Physikerin Thea zu Beginn des Fortbildungstages. Eigene Darstellung.

der Map wird explizit auf die Bedeutung von Publikationen, Konferenzen und dem Austausch zwischen Arbeitsgruppen für die Weiterentwicklung und Validierung wissenschaftlicher Erkenntnisse hingewiesen.

Insgesamt zeigt sich in der Map ein relationales und kollektiv orientiertes Wissenschaftsverständnis, das die Interdependenz der beiden physikalischen Teilbereiche sowie die soziale Dimension naturwissenschaftlichen Arbeitens klar hervorhebt.

6.3. Wissenschaftsverständnis von Emil: Pre, Post im Vergleich

Im Folgenden wird das in den Pre- und Post-Interviews geäußerte Wissenschaftsverständnis des Experimentalphysikers gegenübergestellt.

6.3.1. Zu (1) Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen

Im Pre-Interview beschreibt Emil naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen als einen Prozess der Überprüfung von Hypothesen in einem Rückkopplungssystem. Zentral ist für ihn dabei das Prinzip, eine These nicht nur theoretisch aufzustellen, sondern sie durch ein Experiment aktiv zu testen: „[...] diese Rückkopplung, dass man nicht nur eine These aufstellt und in die Welt schiebt, sondern halt (...) auch testet, ob es funktioniert.“ (Pre, ZM 19). Modellbildung und das gezielte Infragestellen von Erwartungen spielen dabei eine zentrale Rolle. Als Quelle wissenschaftlicher Erkenntnis benennt er ausdrücklich nicht die Bestätigung, sondern vielmehr das Scheitern von Erwartungen: „Eigentlich, wirkliche Erkenntnis gibt es nur, wenn nicht das passiert, was man erwartet.“ (Pre, ZM 22).

Im Post-Interview präzisiert und erweitert Emil diese Perspektive. Er spricht nun explizit von einer „Rückkopplungsschleife“ zwischen Modellbildung auf der theoretischen Seite und der experimentellen Validierung auf der praktischen Seite (Post, ZM 22). Neben der Modellbildung selbst rücken Überprüfung, Diskussionen zur Konsensfindung und komplexe Theorieentwicklung stärker in den Vordergrund. Zudem betont er die Bedeutung kollektiver wissenschaftlicher Praxis: Erkenntnisse entstehen im Zusammenspiel mit anderen – sowohl mit Theoretiker:innen als auch mit weiteren Experimentalphysiker:innen. Wissenschaftliches Arbeiten erscheint damit nicht nur als zyklischer Erkenntnisprozess, sondern zunehmend auch als kooperativer Aushandlungsprozess.

6.3.2. Zu (2) und (3) Charakterisierung von Experimentalphysik und Theoretischer Physik sowie dessen Verhältnis zueinander

Im Pre-Interview betont Emil bereits deutlich seine Skepsis gegenüber einer strikten Trennung von Experimentalphysik und Theoretischer Physik. Er beschreibt, dass beide Bereiche eng zusammenarbeiten und Simulationen als gemeinsames Werkzeug zur gegenseitigen Bestätigung und Ergänzung ihrer

Überlegungen nutzen. Diese wechselseitige Bezugnahme wird durch ein pragmatisches Verständnis der jeweiligen Arbeitsweisen ergänzt: Während er Experimentalphysik als aktives „Ausprobieren im Labor“ (Pre, ZM 90) beschreibt, versteht er Theoretische Physik als konzeptionelles Arbeiten am Schreibtisch oder Computer, bei dem neue Ideen entwickelt und systematisch durchdacht werden.

Im Post-Interview vertieft Emil diese Sichtweise und rückt stärker die Gemeinsamkeiten der beiden Bereiche in den Vordergrund. Er beschreibt Kreativität als verbindendes Element beider Felder – sowohl im Entwickeln neuer Ideen als auch im Finden geeigneter experimenteller Umsetzungen. Dabei verweist er explizit auf unterschiedliche Werkzeuge, die je nach Herangehensweise eingesetzt werden: Während in der Experimentalphysik intuitive Zugänge und praktisches Ausprobieren dominieren, liegt der Schwerpunkt der Theoretischen Physik stärker auf mathematischer Modellierung und rechnerischer Analyse. Simulationen bleiben als gemeinsames methodisches Bindeglied zwischen beiden Bereichen zentral.

Darüber hinaus formuliert Emil im Post-Interview das Verhältnis von Experimental- und Theoretischer Physik explizit als wechselseitige Bedingung und Abhängigkeit. Beide Bereiche stützen und inspirieren sich gegenseitig und tragen gemeinsam zum Erkenntnisprozess bei. Damit entwickelt sich im Verlauf der Fortbildung sein Verständnis von einer zunächst pragmatisch-kooperativen Sichtweise hin zu einer expliziten Betonung der funktionalen Integration beider Felder.

6.4. Concept Map von Emil

Emils Concept Map (vgl. Abbildung 3), die zu Beginn der Fortbildung in Einzelarbeit erstellt wurde, zeigt ein strukturiertes Verständnis physikalischer Wissenschaft mit einem deutlichen Fokus auf die Zusammenarbeit zwischen Theorie und Experiment und

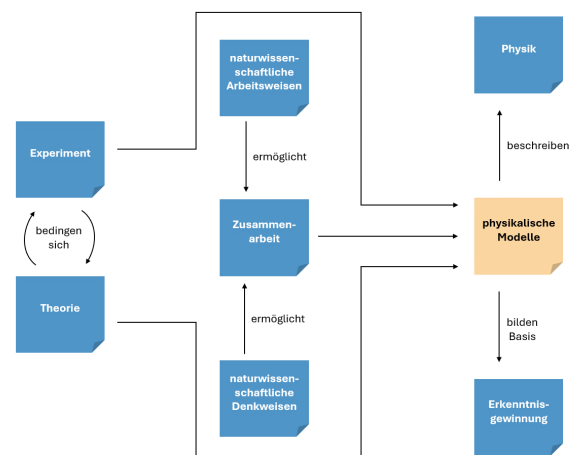


Abb. 3: Concept Map zum Thema „Physik als Naturwissenschaft“ des Experimentalphysikers Emil zu Beginn des Fortbildungstages. Eigene Darstellung.

die Rolle physikalischer Modelle. Im Zentrum der Darstellung steht die Idee, dass physikalische Modelle einerseits durch Experimente überprüft und andererseits durch Theorie inspiriert werden. Modelle übernehmen dabei die Funktion, physikalische Zusammenhänge zu beschreiben und als Basis für Erkenntnisgewinnung zu dienen.

Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen werden als grundlegende Voraussetzungen für physikalisches Arbeiten benannt. Theorie und Experiment sind in der Map als voneinander abhängige, sich bedingende Bereiche dargestellt, deren Kooperation über den Knoten "Zusammenarbeit" explizit hervorgehoben wird. Erkenntnisgewinnung wird klar an diese Zusammenarbeit geknüpft. Physikalische Phänomene werden in dieser Map nicht explizit als eigener Begriff aufgeführt.

6.5. Gemeinsame Concept Map von Thea und Emil

Nach der Auswertung der Einzelinterviews und Concept Maps beider Physiker:innen bietet die gemeinsam entwickelte Concept Map (vgl. Abbildung 4) einen Einblick in ein geteiltes, abgestimmtes Verständnis von Physik als Naturwissenschaft, das in der Zusammenarbeit während der Fortbildung entstanden ist. Die gemeinsame Map wurde im Anschluss an die individuelle Concept-Mapping-Phase kooperativ erstellt und über den Fortbildungstag hinweg nach jedem Block überarbeitet und ergänzt. Diese Concept Map bildet die Perspektiven beider Physiker:innen in strukturierter Form ab. Sie kann daher als verdichtetes und wechselseitig abgestimmtes Ergebnis eines disziplininternen Aushandlungsprozesses über zentrale Begriffe naturwissenschaftlicher Praxis gelesen werden.

Im Zentrum der Map stehen physikalische Modelle und physikalische Phänomene, die als gleichberechtigte, eng miteinander verbundene Elemente des physikalischen Erkenntnisprozesses dargestellt werden. Physikalische Modelle beschreiben Phänomene, geben ihnen Wert und werden ihrerseits durch Experimente überprüft und validiert. Physikalische Phänomene wiederum liefern die empirische Grundlage für die Entwicklung und Überprüfung von Modellen. Zwischen beiden besteht ein wechselseitiges, dynamisches Verhältnis. Die Zusammenarbeit zwischen Theorie und Experiment wird als notwendige Bedingung für physikalische Erkenntnisgewinnung hervorgehoben – betont durch den eingefügten Zusatz „NUR in [Zusammenarbeit]“. Theorie und Experiment werden dabei als unterschiedliche, aber aufeinander angewiesene Zugänge zur wissenschaftlichen Erkenntnis verstanden. Naturwissenschaftliche Denkweisen und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen sind jeweils getrennt aufgeführt, werden aber beiden Bereichen zugeordnet und gelten als Voraussetzung physikalischen Arbeitens.

Im Vergleich zu den individuellen Concept Maps zeigt die gemeinsam entwickelte Map eine deutlich

erweiterte und stärker integrierte Darstellung zentraler Elemente physikalischer Wissenschaft. In der Map von Emil wurden physikalische Modelle bereits als zentrales Element im Zusammenspiel von Theorie und Experiment dargestellt. In der Map von Thea hingegen spielten Modelle keine explizite Rolle; dort standen die Kooperation zwischen Theorie und Experiment sowie die soziale Dimension wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Vordergrund.

Der explizite Knoten „Physikalische Phänomene“, der in der gemeinsamen Map gleichwertig neben die Modelle gestellt wurde, war in beiden Einzel-Maps nicht vorhanden und stellt ein im Kooperationsprozess gemeinsam ergänztes Element dar. Die Bedeutung von Zusammenarbeit zwischen Theorie und Experiment als Voraussetzung für Erkenntnisgewinn war in beiden Einzel-Maps stark betont und wurde in der gemeinsamen Map nochmals prägnant herausgestellt („NUR in Zusammenarbeit“). Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen waren in beiden Einzel-Maps enthalten; in der gemeinsamen Map wurden sie systematischer integriert und beiden Bereichen explizit zugeordnet. Während die Concept Map von Thea zusätzlich die soziale Dimension wissenschaftlicher Erkenntnisentwicklung (Publikationen, Konferenzen, Austausch zwischen Arbeitsgruppen) besonders hervorhob, wird diese explizite Ebene in der gemeinsamen Map nicht in gleicher Weise dargestellt. Dafür wird in der gemeinsamen Map die wechselseitige Beziehung von physikalischen Phänomenen und Modellen sowie die Rolle von Experiment und Theorie im Prozess der Modellbildung und Validierung klar ausgearbeitet.

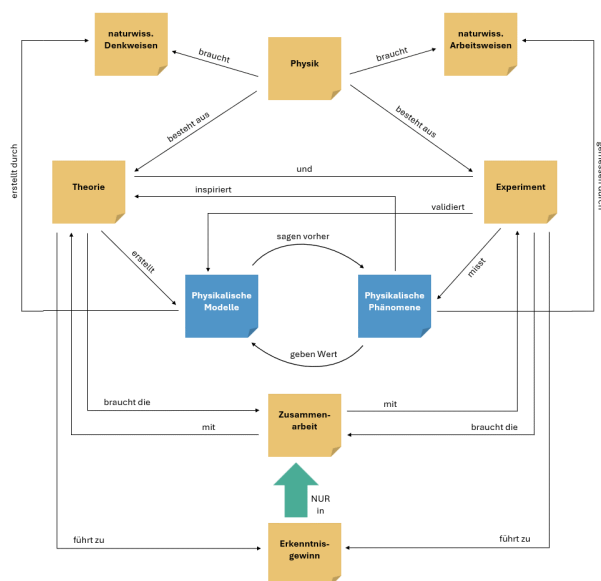


Abb. 4: Gemeinsam erarbeitete Concept Map von der theoretischen Physikerin Thea und dem Experimentalphysiker Emil. Eigene Darstellung.

6.6. Vergleichende Betrachtung: Gemeinsame und unterschiedliche Entwicklungen von Thea und Emil

Die Fallbeispiele zeigen, dass sich das im Verlauf der Fortbildung geäußerte Wissenschaftsverständnis der beiden Physiker:innen in wesentlichen Aspekten angenähert und zugleich in bestimmten Bereichen spezifisch weiterentwickelt hat. Die vergleichende Betrachtung erlaubt es, sowohl gemeinsame Entwicklungslinien als auch unterschiedliche Akzentuierungen der individuellen Perspektiven sichtbar zu machen.

Ein zentrales gemeinsames Element beider Physiker:innen ist das Verständnis von Theorie und Experiment als wechselseitig abhängige und kooperierende Bereiche physikalischer Forschung. Bereits in den Pre-Interviews wurde dieser Zusammenhang betont und in den Post-Interviews sowie in der gemeinsam erarbeiteten Concept Map weiter präzisiert. Besonders deutlich wurde dies im gemeinsamen Verständnis der Zusammenarbeit als notwendige Voraussetzung für Erkenntnisgewinnung, wie es in der finalen Concept Map explizit formuliert wurde.

Unterschiedlich ausgeprägt war in den individuellen Concept Maps zunächst die Berücksichtigung epistemischer Werkzeuge und sozialer Dimensionen wissenschaftlicher Praxis. Während Thea in ihrer Map die soziale Dimension wissenschaftlicher Erkenntnisentwicklung (z.B. durch Publikationen, Konferenzen und Austausch zwischen Arbeitsgruppen) notierte, lag der Fokus von Emil stärker auf der Rolle physikalischer Modelle im Zusammenspiel von Theorie und Experiment. In der gemeinsamen Concept Map wurde interessanterweise der Fokus von Emil partiell in Theas Map integriert: Die Rolle von Modellen und physikalischen Phänomenen wurde gemeinsam ins Zentrum gestellt, während die explizite Darstellung der sozialen Dimension in der finalen Map zurücktrat. In den Videografien der Concept Mapping Phasen wird jedoch ersichtlich, dass Emil Thea in ihrer Perspektive mündlich zustimmt.

In beiden Fallbeispielen zeichnet sich eine zunehmende Differenzierung und Strukturierung im Verständnis naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen ab. Die oberflächlichen Ansätze aus den Beschreibungen in den Pre-Interviews werden in den Post-Interviews zu strukturierten Aussagen mit einer Reihe an Beispielen zur Untermauerung der Verständnisse.

Insgesamt lassen sich sowohl eine Annäherung der Perspektiven als auch wechselseitige Erweiterungen feststellen. Während zentrale Grundannahmen wie die Notwendigkeit von Kooperation und die Bedeutung epistemischer Werkzeuge von beiden Physiker:innen geteilt und gemeinsam ausformuliert wurden, blieben einzelne Schwerpunktsetzungen (z. B. soziale Dimensionen, Modellorientierung bei Emil) in unterschiedlichem Maße präsent.

7. Ergebnisse zu LF1 und LF2

Die beiden Fallbeispiele zeigen exemplarisch, wie Physiker:innen über ausgewählte Aspekte naturwissenschaftlicher Praxis nachdenken und welche Impulse eine explizite Auseinandersetzung mit Nature of Science (NOS) dabei setzen kann.

7.1. Zu LF1: Wie denken Physiker:innen über ihre eigene Disziplin nach?

Die Analysen zeigen, dass beide Physiker:innen zu Beginn der Fortbildung bereits ein deutlich prozessorientiertes und relationales Verständnis von Physik als Naturwissenschaft aufwiesen. Theorie und Experiment wurden von beiden als wechselseitig abhängige und kooperierende Bereiche verstanden. Das Wissen um die Notwendigkeit von Zusammenarbeit war dabei bereits Teil ihres professionellen Selbstverständnisses als Forschende. Allerdings unterschieden sich die individuellen Schwerpunktsetzungen in der expliziten Reflexion über wissenschaftliche Praxis: Während die theoretische Physikerin Thea, erkenntnistheoretische Denkmuster, die soziale Dimension von Wissenschaft und die Rolle kommunikativer Praktiken besonders betonte, lag der Fokus des Experimentalphysikers Emil stärker auf der epistemischen Funktion von Modellen und dem iterativen Charakter des Erkenntnisprozesses.

Insgesamt zeigt sich, dass die betrachteten Physiker:innen differenziert über ihre eigene Disziplin nachdenken und zentrale epistemische, methodische und soziale Aspekte ihrer Arbeit reflektieren — allerdings mit individuellen Akzentuierungen, die aus ihrer jeweiligen Forschungspraxis und disziplinären Verortung resultieren. Diese Beobachtung deckt sich mit den eingangs skizzierten Ergebnissen von Schwartz (2012).

7.2. Zu LF2: Was können Physiker:innen für ihr eigenes Wissenschaftsverständnis gewinnen, wenn sie an einer Physiklehrkräftefortbildung zu Nature of Science (NOS) mitwirken?

Die Fortbildung bot den Physiker:innen die Gelegenheit, ihr implizites Wissenschaftsverständnis explizit zu machen und im kollegialen Austausch miteinander abzugleichen und in neue Kontexte (z.B. Physikunterricht, Vermittlung von NOS) zu überführen. Dieser Prozess förderte bei beiden eine systematischere und breiter angelegte Reflexion über ihre eigene Praxis. Dies zeigte sich insbesondere in der Entwicklung und Diskussion der gemeinsamen Concept Map, in der zuvor nicht explizit genannte oder differenziert betrachtete Elemente (z.B. physikalische Phänomene als eigenständiger Bezugspunkt, bewusste Zuordnung von Denk- und Arbeitsweisen) sichtbar wurden. Beide Physiker:innen explizierten so ihr Verständnis physikalischer Wissenschaft um strukturelle und epistemologische Perspektiven, die über ihre jeweilige disziplinäre Alltagslogik präsenter in den Vordergrund rückten.

Darüber hinaus wurde deutlich, dass die

Auseinandersetzung mit NOS-Inhalten eine vertiefte Sensibilität für die Vermittlungsperspektive eröffnete. Beide Physiker:innen begannen im Verlauf der Fortbildung zu reflektieren, welche Aspekte ihrer Wissenschaftspraxis im Unterricht sinnvoll thematisierbar sind und wie Wissenschaft im schulischen Kontext angemessen repräsentiert werden kann.

8. Fazit und Ausblick

Die vorliegenden Fallbeispiele verdeutlichen, dass Physiker:innen in der Mitwirkung an einer NOS-orientierten Lehrkräftefortbildung nicht nur ihr eigenes Wissenschaftsverständnis explizieren, sondern dieses auch um neue Perspektiven erweitern. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse, dass solche Reflexionsprozesse individuell unterschiedlich verlaufen und stark von disziplinärer Sozialisation und forschungspraktischen Erfahrungen geprägt sind.

Daraus ergeben sich mehrere Desiderate für die weitere Forschung: Erstens bedarf es einer systematischen Untersuchung, wie unterschiedliche disziplinäre Hintergründe und Rollenbilder (z.B. innerhalb verschiedener Fachbereiche oder Karrierestufen) das Wissenschaftsverständnis von Physiker:innen prägen und welche spezifischen Lernpotenziale sich daraus für Bildungsformate ergeben. Zweitens wäre es lohnenswert, die Nachhaltigkeit solcher Reflexionsprozesse genauer zu erfassen: In welchem Maße verändert sich das explizite und implizite Wissenschaftsverständnis von Physiker:innen langfristig durch die Teilnahme an NOS-Fortbildungen/-Seminaren und inwiefern schlägt sich dies in ihrem eigenen Lehr- und Kommunikationsverhalten nieder? Drittens sollten künftige Studien verstärkt die dialogische Dimension solcher Formate in den Blick nehmen: Wie entwickelt sich das Wissenschaftsverständnis in der Interaktion von Physiker:innen und Lehrkräften? Welche wechselseitigen Lernprozesse entstehen in diesem Austausch?

Darüber hinaus legen die Befunde nahe, dass es sinnvoll ist, Bildungsformate stärker dialogisch und reflexiv auszurichten und Physiker:innen gezielt als Partner:innen in der schulischen Wissenschaftsvermittlung einzubinden. Hier eröffnen sich sowohl für die fachdidaktische Forschung als auch für die Gestaltung von Fortbildungsprogrammen vielversprechende Ansatzpunkte für eine vertiefte Zusammenarbeit zwischen universitärer Forschung und schulischer Praxis.

9. Literatur

- Elby, A., & Hammer, D. (2001). On the substance of a sophisticated epistemology. In *Science Education*, 85(5), 554–567.
- Pomeroy, D. (1993). Implications of Teacher's Beliefs about the Nature of Science: Comparison of the Beliefs of Scientists, Secondary Science Teachers, and Elementary Teachers. In *Science Education*, Vol. 77 (3), 261–278.

- Rowell, J. A. & Cawthron, E. R. (1982). Images of Science: an Empirical Study. In *EJSE*, Vol. 4 (1), 79–94.
- Schwartz, R. (2012). The Nature of Scientists' Nature of Science Views. In M. S. Khine (Hrsg.), *Advances in Nature of Science Research* (153–188). Dordrecht: Springer.
- Schwartz, R. S. & Crawford, B. (2004). Authentic scientific inquiry as a context for teaching nature of science: Identifying critical elements for success. In L. Flick & N. Lederman (Hrsg.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education* (331–356). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Schwartz, R. & Lederman, N. (2008). What Scientists' views of nature of science and relation to science context. In *IJSE*, Vol. 30 (6), 727–771.
- Zwick, L. & Wodzinski, R. (2024). NOS im Fokus: Forschung zu Vorstellungen von Physiklehrkräften. In H. Grötzebach, & S. Heinicke (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Greifswald 2024* (119–123).