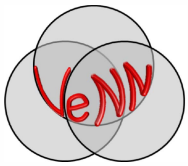
Eckert
Euler
Kehren
Winkler




# Pädagogisches Verstehen von Naturwissenschaft und Nachhaltigkeit
# - VeNN -

Gregor Eckert, Peter Euler, Yvonne Kehren und Christine Winkler

# Pädagogisches Verstehen von Naturwissenschaft und Nachhaltigkeit

## -VeNN-

Darmstadt

2019

# Impressum

Autor*innen

Gregor Eckert, Peter Euler, Yvonne Kehren, Christine Winkler

Covergestaltung

Christine Winkler und Gregor Eckert

Layout

Gregor Eckert

Druck

Druckzentrum Lichtwiese, Fachbereich Architektur, Technische Universität Darmstadt

1. Auflage, 100 Exemplare

März 2019

gedruckt auf 100% Recyclingpapier

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

MINT PLUS

Das Projekt MINTplus: Systematischer und vernetzter Kompetenzaufbau in der Lehrerbildung wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

# Inhaltsverzeichnis

1 Bildung im „Anthropozän“: Zur Notwendigkeit des Verstehens von Naturwissenschaft und Nachhaltigkeit....4

2 Strukturelle Verortung des Moduls im Studiengang Lehramt an Gymnasien....8

3 Bildungsziel: Reflektierte Sachkompetenz....9

4 Verstehen lehren: Zur Ausbildung eines (fach-)pädagogischen Lehrer*innenbewusstseins....12

4.1 Interdisziplinarität in Forschung und Lehre....12

4.2 Vorstellungs- und Verstehensprobleme im (naturwissenschaftlichen) Unterricht....14

4.3 Entstehungs-, Begründungs-, Verwendungs- und Verwertungszusammenhänge: Wissen über Fachwissen....16

5 Verstehen von (Nicht-)Nachhaltigkeit....20

6 Zum Integrationsproblem einer Bildung für nachhaltige Entwicklung: „Vom Projekt zur Struktur“!?....22

7 Literatur....25

„Im Zentrum des Moduls steht ein spezifisch pädagogischer Begriff des *Verstehens*, der auf die Entwicklung einer *reflektierten Sachkompetenz* zielt."

## 1 Bildung im „Anthropozän": Zur Notwendigkeit des Verstehens von Naturwissenschaft und Nachhaltigkeit

Das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung, wie es seit den 1980er Jahren gefordert ist, konfligiert mit der jetzigen Form eines aggressiven nichtnachhaltigen Wirtschaftens und Lebens. Die von Menschen gemachten Veränderungen auf der Erde haben längst tiefgreifenden Charakter angenommen. Zu denen gehören der Klimawandel, das Artensterben (und Artenverschleppung), Abschmelzen der Polkappen und von Gletschern, Bodendegradation, Versauerung und Anstieg der Ozeane, gravierende Übernutzungen unterschiedlichster Rohstoffe, riesige Umweltverschmutzungen, die Einbringung von neuen Materialien wie Plastik, Chlorkohlenwasserstoffe, Radioaktivität durch Atombomben, Atombombenversuche und Kraftwerksabfälle usw. Es ist daran zu erinnern, dass die Entwicklung und der Einsatz der Atombombe, mit der die „Bombenkultur" (s.u.) beginnt, genauso in diese Zeit fällt, wie auch das Datum des Jahrhundertbuchs „Dialektik der Aufklärung" (Horkheimer/Adorno 1969/1947). Die Biographen von Oppenheimer, Kai Bird und Martin J. Sherwin, die für ihre Arbeit den Pulitzer-Preis erhielten, beschreiben jenen Umstand für Oppenheimer wie folgt: „Mutig versuchte Oppenheimer, uns von dieser »Bombenkultur« abzubringen, er wollte die atomare Bedrohung eindämmen, an deren Entstehung er entscheidend mitgewirkt hatte. So entstand der Plan einer internationalen Kontrolle der Atomenergie, bekannt geworden als Acheson-Lilienthal-Report. Oppenheimer war an dessen Konzeption und Formulierung maßgeblich beteiligt. Das Dokument ist ein einzigartiges Beispiel für Vernunft im Atomzeitalter." (Bird/Sherwin 2009, S. 14/15; siehe hierzu „Vernunft im Atomzeitalter" Euler 2016) Horkheimer und Adorno konstatieren in ihrem epochalen Buch „die Selbstzerstörung der Aufklärung" (Horkheimer/Adorno 1969/1947, S. 5).

Diese historische Situation ist einzuholen, wenn heute im pädagogischen Kontext von einer *Bildung für nachhaltige Entwicklung* (im Folgenden BNE) die Rede ist:

> „‚Nachhaltigkeit‘ ist kein zusätzliches, gar neues Bildungsziel, sondern für die in der emendatorisch[1]-kritischen Tradition (über Comenius, Kant, Humboldt bis in die Gegenwart) gegründete Bildung einer vernünftigen Menschheitsentwicklung selbstverständlich. Wenn Bildung nicht nachhaltigkeitsorientiert ist, ist sie keine!“ (Euler 2012, S. 339).

Ausgehend von diesem Bildungsverständnis zeigt aber auch ein kritischer Blick auf die Geschichte jener bürgerlichen Pädagogik, dass die Ansprüche, wie vernünftig sie auch begründet und insofern auch maßgeblich sind, sich im und als Widerspruch von Bildung und Herrschaft entwickelten (siehe hierzu: Heydorn 1970/2004 und Heydorn 1972/2004). Die in der bürgerlichen Herrschaftsgesellschaft erreichte Dominanz des ökonomischen Prinzips der Kapitalverwertung ist mit der Pädagogik dieser Gesellschaft im Innern verbunden und wird nun auch und zwar explizit zum Problem einer Bildung für nachhaltige Entwicklung.

Es gilt dabei zu bedenken, dass die Pädagogik ein historisch-gesellschaftlicher Gegenstand im doppelten Sinne ist: Zum einen ist die Pädagogik ein Resultat vor allem der historischen Entstehung, Durchsetzung und Etablierung bürgerlicher Gesellschaft. Das impliziert, dass sie nur existiert, weil sie entscheidende gesellschaftliche Funktionen erfüllt, weshalb ihre Theorien und Praxen nur aus diesen Kontexten und Dynamiken heraus zu begreifen sind. Zum anderen bedeutet das aber auch, dass die Pädagogik selbst theoretisch und praktisch ein aktiver Teil der gesellschaftlichen Entwicklung und der politischen Auseinandersetzungen ist.

Dies gilt es in besonderer Weise auf die BNE-Problematik zu beziehen. Das Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung im Sinne der Brundtlandkommission sowie ein Einlösen des eigenen bürgerlichen Bildungsanspruchs kann also nur durch ein Umlenken (in der Wirtschafts- und Lebensweise) erfolgen. Soll eine Abkehr von dem bisherigen nichtnachhaltigen Kurs gelingen, ist dies wiederum nicht ohne den Einbezug von Pädagogik als aktivem gesellschaftlichem Entwicklungselement möglich.

Aus diesem Grund rückt sie in den Fokus politischer Programme und Anstrengungen, was zur Etablierung einer Bildung für nachhaltige Entwicklung geführt hat. In dem neu konzipierten Modul *Verstehen von Naturwissenschaft und Nachhaltigkeit* (VeNN) an der TU Darmstadt[2] wird folglich in besonderer Weise hervorzuheben sein, dass Lehre gerade hier in einer forschenden Bewegung sich vorfindet, forschende Erschließung von Lehrgegenständen zur Lehre

1 Emendatio (lat.) – Verbesserung. Bei Jan-Amos Comenius: „‘Emendatio rerum humanarum’ – Entfehlerung (Verbesserung) der menschlichen Verhältnisse” zitiert nach Schaller 1995, S.55.

selbst gehört. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, die jeweilige Widersprüchlichkeit in der Bildung, wie im Komplex der Nachhaltigkeitspolitik im Auge zu behalten. „Sie [Bildung für nachhaltige Entwicklung] ist angemessen nur als widersprüchliche Bildung zu begreifen, weil sie sonst nur eine moralisierende Legitimationsformel für den weiteren Expansionsprozess des Kapitals ist“ (Euler 2012, S. 329).

Die Ursachen, die zum Status quo geführt haben, also ein nichtnachhaltiges Verhältnis zur Natur und ein Ausbeutungsverhältnis zu Rohstoffen und Ressourcen sowie deren Konsequenzen für gesellschaftliche Lebensverhältnisse, reichen weit in die Geschichte zurück. Ein mögliches Umlenken – so die bildungstheoretische Überzeugung – setzt eine Einsicht in die Entwicklungen und Bedingungen dieses Problemzusammenhangs voraus: „[M]an kann die Einsicht in die Nichtnachhaltigkeit globaler Vergesellschaftung ermöglichen und über die Reflexion der Ursachen ein Problembewusstsein eröffnen, welches vielleicht im Stande ist nachhaltige Auswege aus den Krisen ins Auge zu fassen“ (Kehren 2016, S. 209). Somit ist nicht nur in Hinblick auf die Nachhaltigkeitsintention, sondern auch bezüglich der Pädagogik eine kritische Selbstreflexion gefordert.

Mit der Hoffnung auf ein „Überleben durch Bildung“ (Heydorn 1974/2004), die in Bildung für nachhaltige Entwicklung zum Ausdruck kommt, wird

> „[d]er alte Anspruch an die Pädagogik [...] verschärft. Sie soll ermöglichen, was sein soll und zugleich systematisch verhindert wird. Sie soll die Widersprüche globaler Vergesellschaftung lösen, indem sie den Nachwuchs zum Umgang mit diesen Widersprüchen befähigt und damit zu deren Harmonisierung beitragen. Sie soll radikale Veränderungen vorbereiten, ohne grundlegend die Bedingungen menschlichen Handelns ändern zu können.“ (Kehren 2016, S. 78).

Die bildungstheoretische Reflexion darauf eröffnet die Möglichkeit, die in BNE-Programmen formulierten Ansprüche an Pädagogik zu bewerten und sich kritisch zu ihnen zu positionieren.[3] Dabei ist eine Untersuchung des Bildungsverständnisses, das BNE-Konzepten zugrunde liegt, entscheidend und aufschlussreich, denn häufig handelt es sich um ein verkürztes, auf Steuerung und Umsetzung zielendes Verständnis:

2 Verstehen von Naturwissenschaft und Nachhaltigkeit (VeNN): Modul im Vernetzungsbereich des Studiengangs Lehramt an Gymnasien (seit 2017/18) an der Technischen Universität Darmstadt (siehe auch: ZfL TU Darmstadt 2017a).

3 Im Kontext der UN-Dekade Bildung für nachhaltige Entwicklung werden beispielsweise folgende Forderungen erhoben: „BNE soll nicht nur die Qualität von Bildung verbessern, sondern sogar die Millenniumsentwicklungsziele erreichen helfen. Bildung soll also die politischen Versprechen einer nachhaltigen Entwicklung einlösen und somit unmittelbar politisch wirksam werden“ (Kehren 2016, S. 108).

> „Die in Kapitel 36 der Agenda 21 explizit geforderten Bildungsmaßnahmen verstehen Bildung als soziales Steuerungs- und Umsetzungsinstrument im Sinne der Nachhaltigkeit. [...] Im Vordergrund stehen ein grundlegender Bewusstseins- und Einstellungswandel sowie die grundsätzliche Veränderung von Verhaltensweisen. Insofern wird mit der Agenda 21 im Prinzip ein weltweites ‚Umerziehungsprogramm' gestartet" (Kehren 2016, S. 76).

Als Kontrast hierzu stellt sich die Frage, welches Bildungsverständnis angesichts der großen Herausforderung, die sich durch die bestehende Nichtnachhaltigkeit stellt, angemessen ist bzw. wäre. Insbesondere die in BNE-Konzepten formulierten Lösungsvorschläge bedürfen einer kritischen Untersuchung, da sie einem kritisch-bildungstheoretischen Pädagogik- und Politikverständnis oft in entscheidenden Punkten entgegenstehen.

Eine solche Hinwendung zu den Gegenständen nichtnachhaltiger Entwicklung und einer Bildung für nachhaltige Entwicklung umfasst in dem Modul *VeNN* insbesondere die Analyse des didaktischen Materials zu BNE. Unterrichtspraktisch relevant wird dies in der Fähigkeit, Material und Methoden in ihrer Sachangemessenheit zu beurteilen und dementsprechend auszuwählen. Ein kritisch-reflexives Verhältnis zu den Materialien, didaktischen Konzepten und Ansprüchen an eine BNE sowie die selbstreflexive Befragung, welche Ansprüche für pädagogische Maßnahmen realistisch sind, welche Aufgaben leistbar sind und welche Bedingungen hierbei gegeben sein müssen, bewahrt einerseits vor Allmachtsvorstellungen, die notwendigerweise enttäuscht werden müssen und in frustrierende Ohnmachtserfahrungen münden können, sowie andererseits vor der Reduktion pädagogischen Handelns auf eine funktionserfüllende Rolle der Politik gegenüber. Eine solche selbstreflexive Befragung ist ein wichtiger Bestandteil des Ziels der Ausbildung eines (fach-)pädagogischen Lehrer*innenbewusstseins.

Über das Modul sollen die Teilnehmer*innen zu einer Reflexion des eigenen pädagogischen und fachlichen Selbstverständnisses befähigt werden und dieses in ein Verhältnis zu den Herausforderungen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung setzen können. Hinzu kommt als weiteres Ziel die Entwicklung einer *reflektierten Sachkompetenz* als subjektives Bildungsprinzip (vgl. Kap. 3): dies ist zu verstehen als ein Zusammenwirken von Reflexion und Sachwissen, von Beurteilung und Verstehen im Sinne der Reflexion der Entstehungs-, Begründungs-, Verwendungs- und Verwertungszusammenhänge (vgl. Kap. 4.3). Reflektierte Sachkompetenz bildet die Zielvorstellung sowohl für die Teilnehmer*innen, als auch für die später zu unterrichtenden Schüler*innen. Die Vorbereitung auf die Thematisierung von vorwissenschaftlichen Vorstellungen der Schüler*innen soll Sicherheit im Umgang mit potentiell verunsichernden Situa-

tionen und Fragen vermitteln. Da eine Abkehr vom bisherigen nichtnachhaltigen Kurs eine Herausforderung darstellt, die nicht innerhalb der Disziplingrenzen bewältigt werden kann, wird eine interdisziplinäre und die eigenen Verhaftungen reflektierende Perspektive angeregt.

Ein Wissen um die Anteile der Disziplinen (inklusive der Pädagogik(!)) an dem gegenwärtigen nichtnachhaltigen Kurs und eine interdisziplinäre Perspektive, die insbesondere die gesellschaftlichen Bezüge der Wissenschaft umfasst, unterstützen die Teilnehmer*innen des Moduls in der möglichen Herausbildung eines verantwortungsvollen wissenschaftlichen Selbstverständnisses und somit eines (fach-)pädagogischen Lehrer*innenbewusstseins.

## 2 Strukturelle Verortung des Moduls im Studiengang Lehramt an Gymnasien (LaG)

Das Modul „Pädagogisches Verstehen von Naturwissenschaft und nachhaltiger Entwicklung“ ist an der TU Darmstadt im verpflichtenden Teil der Grundwissenschaften des 2017/2018 in Kraft getretenen MINT*plus*-orientierten Studiengangs für das Lehramt an Gymnasien verortet (siehe: ZfL TU Darmstadt 2017b). Innerhalb des Studiengangs ist eine Belegung für das 6. Fachsemester vorgesehen, ein vorheriger Besuch grundlegender Veranstaltungen zu Theorien und Konzepten der Pädagogik und der Didaktik wird empfohlen.

Der inhaltliche Zuschnitt des Moduls ist geprägt durch die Forschungen des 2001 an der TU Darmstadt etablierten Arbeitsbereichs „Allgemeine Pädagogik und Pädagogik der Natur- und Umweltwissenschaften“ unter der Leitung von Prof. Dr. Peter Euler. Das seit 2003 in der Lehramtsausbildung für Gymnasien verankerte Wahlpflichtmodul „Pädagogik der Naturwissenschaften/Ökologische Bildung“ wird 2017/2018 ersetzt durch das Pflichtmodul „Pädagogisches Verstehen von Naturwissenschaft und nachhaltiger Entwicklung“. Hierzu musste aus studiengangstechnischen Gründen eine zeitliche und inhaltliche Verdichtung erfolgen: Während das Wahlpflichtmodul aus *drei* zu belegenden Modulbausteinen bestand (‚Einführung in die Pädagogik der Naturwissenschaften‘, ‚Grundprobleme der Umwelterziehung und der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung‘ sowie ‚Technologische Grenzdurchbrechungen im Natur-Kultur-Verhältnis und Interdisziplinarität als Gegenstand und Problem der Bildung‘), besteht das neue Pflichtmodul aus nur *einem* Seminar. Es finden sich in diesem Seminar die thematischen Schwerpunkte der bisherigen Lehrveranstaltun-

gen[4] in komprimierter Form wieder; gleichwohl bedeutet eine solche Verdichtung auch einen Wegfall inhaltlicher und methodischer Elemente, beispielsweise der bisher erfolgreich eingesetzten Analyse von Videosequenzen naturwissenschaftlicher Unterrichtseinheiten. Durch den neuen Status als Pflichtmodul geraten nun alle LaG-Studierenden (LaG = Lehramt an Gymnasien) in den Blick. Hierdurch entspricht die strukturelle Verankerung des Moduls in der Lehramtsausbildung der Forderung der Kultusministerkonferenz (KMK)[5] für eine *Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) als Querschnittsthema im schulischen Unterricht*: Eine Thematisierung von BNE wird nicht auf bestimmte Fächer begrenzt, sondern ist in allen Schulfächern vorgesehen. Dieses Querschnittsmodell macht eine Adressierung aller Lehramtsstudierenden notwendig – durch die Verankerung als Pflichtmodul im Vernetzungsbereich wird dies sichergestellt. Der Fokus auf ein Verstehen der Naturwissenschaften als notwendige Bedingung von BNE bietet sowohl Studierenden mit explizitem *Mint*-Bezug in ihrer Fächerkombination als auch Studierenden, die keine *Mint*-Fächer studieren, sinnvolle Anschlussmöglichkeiten. Durch die interdisziplinäre Perspektive auf die Fächer stehen für Studierende, die *Mint*-Fächer belegen verstärkt deren gesellschaftlich-kulturelle Dimension im Vordergrund, Studierende ohne MINT-Fach erhalten Einblicke in die spezifischen Zugänge der naturwissenschaftlich-technischen Fächer und deren gesellschaftlicher Relevanz. Alle Teilnehmenden werden durch die Möglichkeit einer kritischen Perspektive ermutigt, neue Verknüpfungen herzustellen und in einen interdisziplinären Dialog zu treten.

## 3 Bildungsziel: Reflektierte Sachkompetenz

Das Konzept der reflektierten Sachkompetenz geht auf Peter Eulers Habilitationsschrift „Technologie und Urteilskraft. Zur Neufassung des Bildungsbegriffs“ (Euler 1999) zurück. Den Ausgangspunkt bildet eine Problematisierung der historisch entstandenen Spaltung der Wissenschaften in Naturwissenschaften auf der einen und Geistes- und Sozialwissenschaften auf der anderen Seite – dieses Phänomen wurde vom britischen Schriftsteller und Physiker C.P. Snow 1959 als *‚two cultures‘* bezeichnet (vgl. Snow 1987). Es fand, so die Bestands-

4 Beispiele für Seminare, die innerhalb des Wahlpflichtmoduls angeboten werden und wurden: „Verstehen lehren in naturwissenschaftlichen Fächern“, „Bildung für nachhaltige Entwicklung?“ und „Historische Zugänge zum Verstehen der Chemie an empirischen Fallbeispielen“.

5 Für Hessen erfolgte die Umsetzung im Hessischen Schulgesetz in der Fassung vom 30. Juni 2017 (siehe HSchG §6 (4)).

aufnahme in den 1950er Jahren, kein Austausch zwischen den beiden Sphären statt, es gab keine gemeinsame Sprache der Wissenschaften. Verheerend wirkte sich aus, dass auch die gesellschaftlichen Funktionen von Wissenschaft geteilt und unvermittelt wahrgenommen wurden: das naturwissenschaftliche *Sachwissen*, die technisch-wissenschaftliche Forschung und die darauf aufbauende Gestaltung der Welt blieben getrennt von einer oft zeitlich nachgelagerten *Reflexion* auf die Zwecke und Ziele, Chancen und Gefahren dieses Wissens, dieser Forschung und dieser Gestaltung. Seit den 1950er Jahren wurden zahlreiche Anstrengungen unternommen, die Trennung zu überwinden – am prominentesten unter dem Schlagwort *Interdisziplinarität.* Dabei hielt zwar eine funktionale Interdisziplinarität, meist ökonomisch erzwungen, Einzug in die Forschung und technische Entwicklung, aber das grundlegende und eben zerstörerische Prinzip, das meist unter dem Titel *sozial- und umweltverträgliche Technikentwicklung* behandelt wurde, ist nicht priorisiert im Sinne einer kritischen Interdisziplinarität[6] mit dem Ziel einer vernünftigen, eben nachhaltigen Entwicklung – angegangen worden. Dessen Ausbleiben wird in der jüngsten Studie des Club of Rome nachdrücklich dargelegt: „Die heutigen Trends sind überhaupt nicht nachhaltig“ (Weizsäcker et al. 2017, S.19).

Bildung, daher von Euler neugefasst als Entwicklung einer reflektierten Sachkompetenz, hat es um den *Zusammenhang* von Reflexion und Sachwissen zu gehen, faktisch bezogen auf den realen Stand der Probleme und normativ im Sinne einer menschheitlichen Perspektive.

> „Reflexion und Sache sind in dieser Bildungsbestimmung nicht mehr in die ‚two cultures‘ zerrissen, sondern in ihrer Immanenz Thema und Aufgabe. Das aber bedeutet auch, daß über die Einsicht und Erfahrung der Reflektiertheit des Sachurteils Sachkompetenz und Sache entschieden in ein problematisches Verhältnis rücken. Positivismus jedweder Seite wird endgültig als unangemessen gelten müssen. Insofern versucht dieses Bildungsprinzip den tatsächlichen, problematischen Stand der Zivilisation mit den katastrophalen Folgen des ökonomischen Versuchs der Naturbeherrschung subjektiv einzuholen, wobei das Subjektive als konstitutiv im Vollsinne zu begreifen ist“ (Euler 1999, S. 277).

Es gilt, das Bildungsverständnis auf dem Problemstand des jetzigen, technologisch-kapitalistisch geprägten Weltzustands einzuholen: Die Sache selbst ist in der gesellschaftlichen Praxis der Technologisierung nicht (mehr) in Natur und

6 Vgl. Euler 1999 Kap. 7 „Bildung und Interdisziplinarität zwischen technologischer Funktionalität und der Kritik der Technologie“, S. 293 ff; ebenso Kehren 2016 Kap. 5.1 „Zu einem materialistischen Materialitätskonzept als Kern der Bildungsdimension nachhaltiger Entwicklung“, S. 172 ff.

Vernunft (Reflexion) zu trennen. Die Welt als durch und durch organisierte und produzierte – im Sinne einer Weltbildung – ergibt

> „für die subjektive Bildung auch im didaktischen Sinne die Notwendigkeit, weitestgehende Spekulation und äußerste Konkretion zusammenzubinden. Hierin besteht das Neue oder zumindest die neue Perspektive subjektiver Bildung, die im Begriff ‚reflektierter Sachkompetenz' bildungstheoretisch zum Ausdruck kommt und bearbeitbar werden soll. Er verlangt, die Durchdringung von Zweck und Mittel in jedem Gegenstand der Bildung zu denken. *Die Sachkompetenz steht dabei immer im Lichte der Reflexion, d.h. im Lichte der Gewordenheit und alternativer Möglichkeiten der Sache selbst* (Hervorh. nicht im Original), wodurch sie nicht mehr Sache im positivistischen Sinne ist. So verstandene subjektive Bildung negiert nicht die Verfassung technologischer Zivilisation, sondern nimmt ihr Prinzip gegen ihre eigene gegenwärtige Gestalt in Anspruch" (Euler 1999, S. 289).

In der Reflexion der Sache, der Rekonstruktion und Würdigung ihrer Gewordenheit und der Möglichkeit eines Andersseinkönnens wird die Historizität der Sache zum Ausdruck gebracht – verbunden mit einer Auffassung von Geschichte als offen und gestaltbar (vgl. Eckert 2014, S. 245-246). Pädagogik befindet sich innerhalb vorgefundener Verhältnisse und ist in sie eingebunden, versteht allerdings weder sich selbst, noch diese Verhältnisse als determiniert:

> „Pädagogik unterliegt nicht einfach der Dialektik der Aufklärung, sondern konstituiert sich als Mittel gegen diese Dialektik innerhalb derselben. Sie ist daher von Anbeginn nicht nur Resultat der Moderne, wie in vielen sozialgeschichtlichen Darstellungen nahegelegt, sondern die eigenartige theoretische Bemühung um eine Praxis, die die Moderne konstituiert und zugleich ihre problematischen Seiten zu kompensieren versucht" (Euler 1995, S. 207).

Für die Studierenden des Moduls besteht daher das Ziel in einem mehrdimensionalen Verstehen des eigenen Fachs. „Dies kann erfolgen über seine genetische und reflexive Erschließung, die Verständigungsprozesse über die Fachgrenze hinaus zu anderen Fächern und zu den gesellschaftlichen Implikationen, Funktionen, Folgen und Möglichkeiten einschließt" (Euler 2005b, S. 64). Die mit dieser Formulierung beschriebene reflexive Sachkompetenz beinhaltet als entscheidend im Hinblick auf die spätere Lehrtätigkeit der Studierenden auch ein Wissen über das Fachwissen – nicht als Gegebenes, sondern in seiner Gewordenheit und seinen Interdependenzen. Die Urteilsfähigkeit (als Sachkompetenz) ist an die Sache gebunden, was aber die Erarbeitung eines mehrdimensionalen Verstehens des Fachs erfordert, um nicht durch eine enge Fachlichkeit das Verstehen der Sache einzuschränken oder gar zu behindern.

# 4 Verstehen lehren: Zur Ausbildung eines (fach-)pädagogischen Lehrer*innenbewusstseins

Im Folgenden werden die Prinzipien und Elemente dieses Moduls theoretisch umrissen, um damit die Grundlagen für die konkrete Lehrarbeit im Seminar zu liefern. Diese hat das zugrundeliegende Selbstverständnis offen zu legen und an konkreten Seminarthemen zu exemplifizieren.

## 4.1 Interdisziplinarität in Forschung und Lehre

Der spezifische Zugang zu Interdisziplinarität, der diesem Modul zugrunde liegt, ist von der Untersuchung der Frage geprägt, was die Gründe für die Forderung nach Interdisziplinarität waren und sind. Die Forderung nach Interdisziplinarität wird (wie oben schon aufgeworfen) als Reaktion auf einen erkannten Mangel des Wissenschaftssystems verstanden – ein Mangel, den weiterhin insbesondere Lehramtsstudierende ganz subjektiv erfahren: die Vereinzelung und das unvermittelte Nebeneinander der Wissenschaftsdisziplinen. Die verschiedenen Disziplinen – insbesondere trifft das auf Disziplinen zu, die sich in verschiedenen ‚Lagern' (Naturwissenschaften und Geistes- und Sozialwissenschaften) befinden – werden nicht durch eine gemeinsame Klammer zusammengehalten. Problematisch wird diese Vereinzelung zum einen durch die Gefahr, dass die Disziplingrenzen zu Erkenntnisgrenzen werden (vgl. Mittelstraß 2005, S. 18) und somit einem sachangemessenen Verstehen entgegenstehen. Zum anderen begünstigt die Vereinzelung eine Entwicklung, Wissenschaft als in sich geschlossenen Bereich zu verstehen und die Verbindung zwischen Disziplinen, aber auch zur Gesellschaft zu minimieren – die Folgen sind häufig „disziplinäre Bornierungen des Normalbetriebs" (Euler 2005a, S. 298). Diese Bornierungen können ein derart starkes Ausmaß erlangen, „dass rationale Argumente und Disziplinarität auseinander treten, zugespitzt formuliert: dass Vernunft und Wissenschaft nicht mehr in Einklang stehen und sogar in Widerspruch zueinander treten können" (Euler 2005a, S. 299). Wenn wissenschaftlich-disziplinäres Denken so verstanden wird, dass die Kategorie *Verantwortung* prinzipiell ausgeschlossen wird, ist „Disziplin [...] folglich nicht mehr ausreichend als geordnetes, eben diszipliniertes Denken und Erkennen zu interpretieren, sondern auch als Problematisches, mögliches Negatives, das folg-

lich in seiner gesellschaftlichen Dimension und Verantwortung begriffen und aufgefasst werden muss“ (ebd., S.301).[7]

Interdisziplinarität wird hier sowohl als Wechselwirkung von wissenschaftlichen Disziplinen untereinander verstanden als auch als explizite Wechselwirkung zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. Dieser umfassend angelegte Begriff von Interdisziplinarität wird als Möglichkeit gesehen, das Verhältnis von Wissenschaft und Gesellschaft zu reflektieren und gegebenenfalls neu zu denken:

> „In der Interdisziplinarität kreuzen sich Probleme der Wissenschaften untereinander und die von Wissenschaft und Gesellschaft in der Doppelfunktion der Universität, nämlich in Lehre und Forschung. [...] Forschung und Lehre erhalten dadurch die Chance, sich wieder bewusst an der Identifizierung von Problemen im Spannungsfeld von Wissenschaft und Gesellschaft zu orientieren“ (Euler 2005a, S. 306).

Als Gegenentwurf zu einer behaupteten ‚Wertfreiheit‘ von Wissenschaft wird die gesellschaftliche Aufgabe von Wissenschaft in den Vordergrund gestellt: „Wissenschaft wird auf ihre Quelle, der sie entspringt und auf ihren Grund, den sie hat, verwiesen: Sie ist Aufklärung im Dienste der Menschheit. Sie wird auf ihre soziale Funktion, durch die sie einzig und allein gerechtfertigt und begründet ist, zurückgeführt“ (Euler 2005a, S. 303). In der Forderung nach der (Rück-)Besinnung auf die soziale Funktion von Wissenschaft wird aufgenommen, was Julie T. Klein 1972 im Auftrag der OECD formuliert und als Definition von Interdisziplinarität angesehen werden kann:

> „In the late 1960s, the OECD‘s Centre for Educational Research and Innovation organized the first international investigation of the concept of interdisciplinarity, an effort that culminated in a 1970 seminar on the problems of interdisciplinary teaching and research in universities. The seminar capped an investigation provoked by worldwide reform in education, renewed protests against the fragmentation of Knowledge, and heightened demands for the university to fulfill its social mission“ (Klein 1990, S 36).

Für den Schulunterricht und somit für das spätere Tätigkeitsfeld der Studierenden des Moduls ergibt sich aus den Reflexionen zu Interdisziplinarität, dass dieser in einem Spannungsverhältnis steht zwischen der disziplinären/fachlichen Verortung und Begrenzung auf der einen Seite und der Notwendigkeit einer Überschreitung dieser Grenzen, um umfassende Verstehensprozesse an-

7 Hans Joachim Schellnhuber (langjähriger Direktor des von ihm 1992 gegründeten Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK); von 2009 bis 2016 Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) und langjähriges Mitglied des Weltklimarats (IPCC)) prägte jüngst angesichts der zur Parteinahme herausfordernden wissenschaftlichen Ergebnisse den Begriff des „Gewissenschaftlers“ (vgl. Der Freitag, Ausgabe 46/2015).

zuregen, auf der anderen Seite. Ein an der Sache orientierter Unterricht kann sich nicht auf die Grenzen der eigenen Disziplin berufen, sich nur innerhalb dieser Grenzen bewegen und alles, was sich außerhalb von ihnen befindet, ausblenden: „In aller Klarheit ist zu konstatieren, dass die Sache und das Fach nicht identisch sind. Die Sache ist mehr und auch anderes als das entsprechende Fach. *Sachlich sein und fachlich sich verhalten, ist nicht eins*! (Hervorhebung im Orignial)“ (Euler 2005a, S. 300). Weder die gesellschaftlichen Dimensionen noch die Verbindungen zu anderen Disziplinen sollten unter Berufung auf eine vermeintliche Konzentration auf das Fach ausgeklammert werden, weil dadurch auch das Fachliche nicht wirklich verstanden werden kann.

## 4.2 Vorstellungs- und Verstehensprobleme im (naturwissenschaftlichen) Unterricht

Einen weiteren Ausgangspunkt für das Modul bildet das seit den 1960er Jahren identifizierte[8] verbreitete Phänomen des Scheiterns des naturwissenschaftlichen Unterrichts, wie es umfassend von Harald Bierbaum analysiert wurde (vgl. Bierbaum 2013). Charakteristika dieses Scheiterns sind die geringe Wirksamkeit des Unterrichts, sinkende Motivation der Schüler*innen und breite Inkompetenz in diesen Fächern. Es wird zwar im Unterricht richtiges Fachwissen von Seiten der Fachlehrer*innen vorgestellt, doch festzustellen sind massive Probleme auf Seiten der Schüler*innen, welche sich in immer neu konstatierten Vorstellungsproblemen zeigen. Deren Identifikation und Analyse in der Sache sind daher der Ausgangspunkt eines pädagogisch-didaktischen Vorgehens, das einsetzend mit den Studien von Martin Wagenschein nicht mehr nur am Wiedergeben von Wissen, sondern am *Verstehen* der Sache orientiert ist. Die Differenz von Wissen und Verstehen steht daher im Zentrum des Moduls. Aus ihr wird ein spezifisch pädagogischer Begriff des Verstehens entwickelt, der wiederum auf die Entwicklung einer reflektierten Sachkompetenz zielt.

Methodisch sind die Verstehensbemühungen, die in dem Modul angestrebt werden, durch einen historisch-genetischen Zugang geprägt, der die Verstehensprobleme zu erkennen vermag und zugleich auch den praktischen Ansatzpunkt für einen am Verstehen orientierten Unterricht bildet. Referenzpunkte bilden hierbei Martin Wagenscheins Arbeiten zum genetischen, exemplarischen und sokratischen Lehren und Lernen (vgl. Wagenschein 2013a) und unterschiedliche Ausführungen des genetischen Zugangs bis in jüngste Zeit im Ge-

8 „Erste niederschmetternde Ergebnisse über die Erfolglosigkeit des eingeführten Unterrichts in den Fächern Physik, Chemie und Biologie existieren bereits seit den 1960er Jahren (vgl. Daumenlang 1969).“ (Euler/Luckhaupt 2010, S. 13f.)

folge von Wagenscheins Theorie (vgl. Kruse/Messner/Wollring 2012). Hierzu gehören neben auch stärker wissenschafts- und gesellschaftskritischen Weiterentwicklungen u.a. durch Peter Bulthaup und Jens Pukies[9], auch Arbeiten von Peter Euler, Harald Bierbaum und Arne Luckhaupt[10]; u.a.: „Historische Zugänge zum Verstehen systematischer Grundbegriffe und Prinzipien der Naturwissenschaften“ (Euler/Luckhaupt 2010).

Da die Fachsystematik und -logik für sich zwar fachlich richtig, aber in der fertigen Gestalt unverständlich ist, darf sie nicht der unmittelbare und unvermittelte Ausgangspunkt des Unterrichts sein, wenngleich auch das Ziel eines aufklärenden Naturwissenschaftsunterrichts das Verstehen der Systematik ist. Da die neuzeitliche Naturwissenschaft historisch entstanden, also geworden ist und nicht als Naturwissen offenbart wurde, geht der Weg zum Verstehen über die „Genesis“ der Erkenntnisse. Es gilt die Erkenntniswege, die „Denkwege“[11] zu kennen, um überhaupt sich an die Aufgabe eines Verstehen Lehrens zu machen.

Hierin besteht die Besonderheit dieses Modulansatzes, deswegen gehört zu ihm auch die didaktische Würdigung von *Umwegen, Sackgassen und Vorannahmen*. Sie werden nicht zugunsten der Erzählung eines reibungslosen, kumulativen Erkenntnisprozesses ausgeblendet, sondern als wichtige und notwendige Elemente im Verstehensprozess angesehen. Dies bietet die Chance, die Schüler*innen zu ermutigen, eigene Hypothesen zu formulieren, auch und gerade wenn sie auf vorfachlichen Vorstellungen basieren. Lehrkräfte müssen daher mit der Möglichkeit vertraut gemacht werden, sich durch die eingehende Beschäftigung mit der Genese naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse ein Hintergrundwissen aufzubauen, welches es ihnen erlaubt, auch auf die vorfachlichen Vorstellungen der Schüler*innen einzugehen und sie in ihren Verstehensprozessen zu unterstützen.

Dieses Vorgehen zielt auf eine Ermutigung der Lehrer*innen, vermeintliche ‚Umwege‘ in einem häufig linear gedachten Unterrichtsprozess zuzulassen. Durch eine exemplarische Antizipation vorfachlicher Vorstellungen wird das

9 Peter Bulthaup: Zur gesellschaftlichen Funktion der Naturwissenschaften (Bulthaup 1973/1996); Peter Bulthaup: Fachsystematik und didaktische Modelle (Bulthaup 1975); Jens Pukies: Das Verstehen der Naturwissenschaften (Pukies 1979).

10 Harald Bierbaum: Verstehen-Lehren. Aufgaben und Probleme der schulischen Vermittlung naturwissenschaftlicher Allgemein-Bildung (Bierbaum 2013); Peter Euler und Arne Luckhaupt: Historische Zugänge zum Verstehen systematischer Grundbegriffe und Prinzipien der Naturwissenschaften. Materialien für die Unterrichtsentwicklung: zur pädagogischen Interpretation der ‚Basiskonzepte‘ der Bildungsstandards (Euler/Luckhaupt 2010).

11 Vgl. hierzu die hervorragende Arbeit von Elisabeth Ströker: Denkwege der Chemie. Elemente ihrer Wissenschaftstheorie (Ströker 1967).

Ziel verfolgt, Kompetenzen im Umgang mit Irritationen und Rückfragen von Schüler*innen zu entwickeln. Die Geschichte der eigenen Wissenschaft, genauer die Genesis der systematisch entscheidenden Erkenntnisse[12] wird damit zur Grundlage, um sich auf Vorstellungen der Schüler*innen produktiv einzulassen. In diesem Sinne ist nach Martin Wagenschein dieses Vorgehen auch als „Verjüngungselixier“ für Lehrer*innnen zu betrachten, die somit an dem stets neuen Staunen und Erklären teilhaben können (siehe Wagenschein 2013b, S. 90).

## 4.3 Entstehungs-, Begründungs-, Verwendungs- und Verwertungszusammenhänge: Wissen über Fachwissen

Der spezifisch pädagogische Verstehensbegriff gründet entweder auf der subjektiven Entwicklung der Wissenschaft aus exemplarischen Phänomenen, ein Verfahren, das Wagenschein im strengen Sinn als „genetisch“ begreift (vom Phänomen zu Begriff bzw. Theorie). Oder aber das genetische Vorgehen nimmt mehr oder weniger explizit historisches Wissen über die Entstehung des Fachwissens in Anspruch, wodurch tendenziell (in unterschiedlichen Varianten der „Genetiker“) das bestehende Wissen im Grunde rekonstruktiv erschlossen wird und dadurch ein Verstehen ermöglicht (im Extrem ist das Wissen bekannt und die Frage lautet, „Woher wissen wir das?“ (Dickerson/Gray/Darensbourg 1988)).

Das bedeutet nicht, worauf oft hingewiesen wurde, dass zu dem Fachwissen auch noch Geschichten über das Fachwissen das Curriculum aufblähen sollen. Im Gegenteil eröffnet sich über das Wissen der Genese des Fachwissens der im Ergebnis geronnene geistige Gehalt des wissenschaftlichen Ergebnisses und befreit dadurch von großen Teilen verständnislosen Lernens.[13] Dieses Verfahren versucht nicht die wissenschaftlichen Antworten durch die Schüler*innen lernen zu lassen, sondern sucht ihnen die Fragen erkennbar zu machen, zu denen die Wissenschaft die Antworten liefert. Auf welche Fragen etwa ist das Periodensystem die Antwort? Auf welche das Trägheitsprinzip, die Vorstel-

12 Wagenschein berief sich gern auf O. Toeplitz (1881-1940), der scharf zwischen der „Geschichte“ und der „Genesis“, den Denk- und Erkenntniswegen unterschied: „Nicht um die Geschichte handelt es sich, sondern um die Genesis der Probleme, der Tatsachen und Beweise, um die entscheidenden Wendepunkte in dieser Genesis. [...] Unerschöpflich kann man so aus der Historie für die didaktische Methodik lernen (Hervorhebung im Original)“ (Toeplitz 1927, S. 94-95).

13 „Ob und wie dieses Wissen belegt, begründet, bewiesen und von welchen Voraussetzungen es abhängig war, musste einem am Resultat interessierten Funktionalismus als irrelevant erscheinen.“ und „Es reicht, wenn man etwas kann; ob man auch versteht, worauf das Können beruht, ist unwichtig, wenn das Können nur funktioniert“ (Koch 2015, S.13).

lung der Zelle? Auf welche die Gewaltenteilung? Im Kern geht es dem genetischen Lehren um den im Ergebnis der Wissenschaften und in kulturellen und politischen Entwicklungen unzugänglich gewordenen theoretischen Inhalt derselben, ihren geistigen Gehalt. In seiner berühmten didaktischen Analyse hat Klafki (1964) das in der Differenz von „Bildungsinhalt“ und „Bildungsgehalt“ quasi schulmäßig eingeführt.[14]

Durch das genetische Vorgehen zeigt sich allererst der Sinn und Zweck eines kulturellen Inhalts; Entstehung und Begründung im Verbund eröffnen ein Verstehen des Wissens, ein verstehendes Wissen, ein Wissen, das versteht.

Die für dieses Modul leitende Vorstellung ist, dass für die Praxis des genetischen Lehrens ein Wissen über das Fachwissen zu erwerben ist. Das von der Menschheit generierte Wissen gilt es in der Vermittlung jeweils wieder in den einzelnen lebendig zu machen.[15] Das verlangt die Zusammenhänge zu vergegenwärtigen, um die Erkenntnis- und Denkwege freizulegen. Im Laufe der Erforschung der genetischen Prozesse ergaben sich allerdings Differenzierungen der Arten des Wissens von Zusammenhängen, die dazu notwendig sind. Genauer es gilt, die *Entstehungs-, Begründungs-, Verwendungs- und Verwertungszusammenhänge* des jeweiligen Fachs oder Bildungsgegenstands zu unterscheiden.

Zunächst ist der *Entstehungs- und Begründungszusammenhang* zentral. Ganz im Sinne einer kritischen Theorie der Bildung zeichnet sich das, was im vorzugswürdigen Sinne Verstehen und Bildung genannt zu werden verdient, dadurch aus, die in Rede stehende Sache bzw. das Fach im Zusammenhang ihrer Gewordenheit, ihrer Genese zugänglich zu machen. Das aber heißt nicht bloß die Legende zur Sache kennenzulernen, sondern Verstehen i.S. der Bildung heißt, die Gründe der Sache in der Genese zu erkennen. In dieser Bestimmung wird auch deutlich, warum in der Tradition des Humanismus die Geschichte und die Philosophie überragende Bedeutung zugesprochen bekamen, sie die dominierenden Gegenstände der Bildung waren.

Da es sich in diesem Modul um das Werden wissenschaftlicher Erkenntnisse handelt, geht es nicht um beliebiges historisches Wissen, das irgendwie mit dem Gegenstand zu tun hat, sondern um für die Erkenntnis systematisch ent-

14 “Die Didaktiker haben das als den ‚Bildungssinn der Fächer‘ (Wilhelm Flitner), als das ‚Kategoriale der Inhalte‘ (Wolfgang Klafki) oder als das ‚Exemplarische der notwendigen Vertiefung‘ (Martin Wagenschein) immer wieder ausgelegt.“ (Gruschka 2011, S. 140)

15 „Im Klima der Halbbildung überdauern die warenhaft verdinglichten Sachgehalt von Bildung auf Kosten ihres Wahrheitsgehalts und ihrer lebendigen Beziehung zu lebendigen Subjekten.“ (Adorno 1980, S. 103)

scheidende Entwicklungsschritte (wie eben z.B. der Atomtheorie, des Periodensystems, der Erhaltungssätze, des Trägheitsprinzips, der Zelltheorie, der Gentheorie usw.), also um Schlüsselstellen zur Hervorbringung der Wissenschaften; eben das was für sie spezifisch ist, weil es sie begründet. Die Genese bzw. das Genetische im Lehren und Lernen ist also die innere Verbindung von Entstehung *und* Begründung; im Grunde also die Entstehung als Generierung der Begründung. Wissen über das Fachwissen bedeutet also, das Wissen über die Denk- bzw. Erkenntniswege wichtiger Begriffe, Prinzipien und Theorien des Fachs oder des Problems zu erlangen, um eben dadurch dessen Verstehen zu ermöglichen. Erst unter diesem Aspekt bekommen allerdings auch Irrwege der Entwicklung des Fachs, wie auch der Verständnissuche von Schüler*innen, wie sie in Kap. 4.2 dargestellt wurden, inhaltlich und damit pädagogisch Bedeutung.[16]

Doch das Verstehen ist nicht bloß ein Prozess des innerdisziplinären Verstehens, so wichtig der auch ist, um nicht einfach Wissen nur zu glauben statt es aus seiner Begründung heraus zu verstehen. Die Geschichte der Naturwissenschaften ist spätestens seit dem 20. Jahrhundert (vgl. Böhme/van den Daele/Krohn 1973) und der Unübersehbarkeit einer gattungsgefährdenden nichtnachhaltigen Entwicklung, welche zur UN-Umweltpolitik führte (Euler 2014b, Kehren 2016), im erheblichen Maße außerwissenschaftlichen Steuerungen unterworfen, die gerade auch die Wissenschaft selbst in ihrem Selbstverständnis und ihrer inneren Dynamik bestimmen und veränderten. Aus dem Flaggschiff der Aufklärung wurde immer vollständiger die zentrale Produktivkraft, die materiale Bedingung für eine total werdende Kapitalverwertung. Daher gehört zu den für das Verstehen relevanten Zusammenhängen immer stärker im Jahrhundert des „Anthropozäns“ auch die *Verwendungs-* und die ökonomisch forcierten, wenn nicht gar getriebenen *Verwertungszusammenhänge* der Naturwissenschaften in ihrer immer engeren Verzahnung mit den beherrschenden Technologisierungsprozessen, so dass mittlerweile beide untrennbar verbunden sind. Spätestens seit der globalen Debatte, die mit den Atombomben Abwürfen 1945 einsetzte (Euler 2016) können Naturwissenschaft und Technik nicht mehr als unbestrittene Heilsbringer der Menschheit gelten. Die *Janusköpfigkeit* von Naturwissenschaft und Technologie, d.h. ihr Doppelgesicht als sowohl Ursache als auch potentielle Lösungsinstanz der Probleme, die entscheidend die globale Zivilisation durchdringt, hat daher im Zentrum einer Allgemeinbildung zu stehen, die auf der Höhe der gegenwärtigen Entwicklung verankert ist. Genau das verlangt von einem sachlich begründeten Unterricht,

16 Vgl. u.a. hierzu Euler/Husar/Luckhaupt/Schlöder 2012 Kap. 4.6 „Verstehen heißt, in der eigenen Sprache einer Erkenntnis auf der Spur sein.“, S. 44-47.

dass die hier analytisch unterschiedenen Entstehungs-, Begründungs-, Verwendungs- und Verwertungsebenen nicht als isolierte Teile betrachtet, sondern im sachlich gebotenen Zusammenhang verstanden werden können und sich erst so eine Perspektive auf Mündigkeit eröffnet.

Grundlage des Moduls ist demnach eine Reflexion des Selbstverständnisses der Naturwissenschaften. Dabei wird deutlich, dass mit dem „Übergang zur bürgerlichen Herrschaftsgesellschaft“ (Koneffke 1994) Naturwissenschaft (und Technik) zunehmend die Gestalt instrumenteller Vernunft (vgl. Horkheimer 1991) angenommen haben. Sie zielen auf den Zugriff, die Verfügung, die Nutzbarmachung der Natur, wobei Nutzen immer stärker die Form der Plünderung und Ausbeutung annimmt (vgl. Bardi 2013). Daher stiftet dieses Modul die Beziehung des Verstehens der Naturwissenschaften mit der BNE-Problematik über den Tatbestand der realen „Nicht-Nachhaltigkeit“ globaler Entwicklung (vgl. Peter Euler: Nichtnachhaltigkeit verstehen. Pädagogik soll richten, was politisch nicht gelingt (Euler 2014b)). Bildung für nachhaltige Entwicklung behandelt gesellschaftlich-kulturelle Themen im Rückgriff auf die Einzeldisziplinen, die damit zugleich aber auch in ihrer Begrenztheit in den Blick geraten. Der Perspektive von BNE ist notwendig eine explizite Verbindung von Kultur und Gesellschaft mit den jeweiligen Fächerinhalten zu eigen. „Ein kritisches Verständnis verlangt gerade auch bezüglich der Naturwissenschaften, ihre weitreichende kulturelle Dimension und ihren enormen politischen Charakter als zur Sache gehörig, als konstitutiv für Naturwissenschaft zu entfalten“ (Euler 2010, S. 15).

Das Verstehen der Naturwissenschaften steht damit in unmittelbarer Verbindung zum politischen Überlebensthema des Gelingens einer nachhaltigen Entwicklung. Die notwendige interdisziplinäre Perspektive benötigt daher ein Sachverständnis, das, wo notwendig, auch ein beschränktes, sich selbst verkürzendes Fachverständnis überwindet. Provokant formuliert: Die strikte Trennung in Disziplinen befördert durch die isolierte Fachthematisierung gerade die zu überwindende nicht-nachhaltige Entwicklung. Eine isolierte Betrachtung der Naturwissenschaften verleitet zu einer Verabsolutierung ihrer Methoden und Produkte, zur Unterstellung der alternativlosen und ahistorischen Geltung ihrer Ergebnisse. Harald Bierbaum und Peter Euler (Bierbaum 2007) plädieren deshalb für einen überfälligen „Blickwechsel“ auf die Naturwissenschaften, die daher als gesellschaftlich-kulturelle Produkte zu lehren seien. Mit Wagenschein begreifen sie das Verstehen der Naturwissenschaften als Bedingung gesellschaftlicher Teilhabe. In dem Modul wird der Zusammenhang zwischen (nicht)nachhaltiger Entwicklung und dem (oft ausbleibenden, unvollständigen)

Verstehen der Naturwissenschaften daher im Rahmen der grundwissenschaftlichen Lehrer*innenbildung bewusst ins Zentrum gerückt.

## 5 Verstehen von (Nicht-)Nachhaltigkeit

Aus den oben genannten Gründen ist für das hier vorliegende Modul VeNN die Bearbeitung der vier Ebenen der Zusammenhänge von essentieller Bedeutung. Sie dienen damit auch dem geforderten umwelt-ethischen Prinzip der Nachhaltigkeit, das über das Verstehen der Gesamtvernetzung von Natur und Kultur zugleich eine ethische Grundeinstellung und entsprechende Handlungsoptionen befördern soll (Vgl. BLK-Orientierungsrahmen 1998).

Auf die Lehramtsausbildung bezogen gewinnt dieser Aspekt auch in der offiziellen Bildungsrhetorik wachsend an Bedeutung. Die Zuständigkeit für BNE wird in der gängigen Auffassung als eine gesehen, die nicht in einem Fach liegen könne, was durchaus aber noch nicht als letztgültige Beurteilung gelten muss. So kann Ethik auch ein Fach sein, was nicht heißt, dass Inhalte anderer Fächer dann von Ethik befreit seien. Betont wird aber in der Ablehnung der Konzentration auf ein Fach der Umstand, dass alle Fächer in der Verantwortung stehen (vgl. DUK 2011, S. 10). Die Naturwissenschaften und das neue Thema Nachhaltigkeit sollen eben gerade nicht ohne wechselseitige Vermittlung behandelt werden, auch um einen fachbornierten Naturwissenschaftsunterricht in allgemeinbildenden Schulen zu überwinden.

Die Naturwissenschaften sind also gemäß ihrer *Janusköpfigkeit* in ihrer doppelten Rolle zu erkennen und dementsprechend zu lehren: Sie sind sowohl (Mit-)Verursacher der bestehenden Nichtnachhaltigkeit als auch die Bedingung zu deren Erkenntnis bzw. Moment in einer einzuleitenden nachhaltigen Neu-Gestaltung. Und genau in dieser ihrer objektiven Rolle haben sie Gegenstand eines an Mündigkeit orientierten allgemeinbildenden Unterrichts zu sein. Die immanente Logik der Aufklärung enthält beides: Die Möglichkeit der Vernutzung der Natur durch technischen Zugriff sowie die Möglichkeit eines reflexiven Umgangs mit ihr, der beispielsweise zu kollektiven Selbstbeschränkungen im Zugriff auf Natur in Form von internationalen Naturschutzabkommen oder Fangquoten führen kann – eben mit dem Ziel der Anwendung des aus der

Forstwirtschaft stammenden Nachhaltigkeitsprinzips (Carlowitz 1713).[17] Hier wird wiederum die politische Dimension des Verhältnisses von BNE, Fachdisziplin und Naturwissenschaft deutlich und die gemeinsame Verantwortung für die Einrichtung wirkungsvoller Einschränkungsmechanismen spürbar. Verantwortungsvolles Handeln in komplexen technisch-wissenschaftlichen Umgebungen setzt ein Bewusstsein des Zusammenhangs von fachlicher Qualifikation und der Fähigkeit zur Beurteilung und Einschätzung von Konsequenzen und Risiken voraus – und somit das, was in dieser Konzeption als *reflektierte Sachkompetenz* begriffen wird.

Um nun zu einem expliziten Verstehen dessen zu kommen, was in einem nichtverkürzten Sinn ein *Verstehen von Nachhaltigkeit* genannt werden kann, ist gemäß dem genetischen Prinzip auch hier vorauszusetzen, dass die *Denkwege der Entwicklung von Nachhaltigkeit* eröffnet werden; eben von dem begrifflichen Ursprung in der Forstwirtschaft bis zum globalpolitischen UN-Programm. Zusätzlich wird die Frage gestellt, was zu den konkreten geschichtlichen Zeitpunkten der Anlass für die wachsende Bedeutung von Nachhaltigkeitsfragen war. Die dem Modul zugrunde liegende Nachhaltigkeitsdefinition des Brundtlandberichts bezieht explizit die sozialen und wirtschaftlichen Dimensionen ein (vgl. World Commission on Environment and Development 1987, S. 55, Absatz 72)[18] und ermöglicht es, unterkomplexe Perspektiven und einen verkürzten Nachhaltigkeitsbegriff in Form einer Reduktion auf rein ökologische Aspekte kritisch zu reflektieren. Insbesondere das globale Armutsgefälle, postkoloniale Strukturen sowie Geschlechterverhältnisse werden hierzu in ihrer Beziehung zu Nachhaltigkeit und BNE thematisiert.

Das Modul beruht auf der Einsicht in die Notwendigkeit der Analyse der bestehenden Wirtschafts- und Lebensweise. Diese Lebens- und Wirtschaftsweise zeichnet sich allgemein gesprochen durch eine prinzipielle *Nichtnachhaltigkeit* aus, da sie an unbegrenztem exponentiellen Wachstum ausgerichtet ist; ihre Untersuchung ist unerlässlich für weitere Reflexionsbewegungen: *„Um also den Übergang in eine nachhaltige Weltgesellschaft zu gewährleisten, ist die*

17 „Wird derhalben die größte Kunst / Wissenschaft / Fleiß / und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen / wie eine sothane Conservation und Anbau des Holzes anzustellen / daß es eine continuirliche beständige und nachhaltende Nutzung gebe / weiln es eine unentberliche Sache ist / ohne welche das Land in seinem Esse nicht bleiben mag.“ (Carlowitz 1713, S. 105f)

18 „The common theme throughout this strategy for sustainable development is the need to integrate economic and ecological considerations in decision making. They are, after all, integrated in the workings of the real world. This will require a change in attitudes and objectives and in institutional arrangements at every level“ (World Commission on Environment and Development 1987, S. 55).

*Analyse der Ursachen und Folgen nicht nachhaltiger Entwicklung … unerlässlich“* (Kehren 2016, S. 79, Hervorhebung im Original). In der sachlichen Analyse der Nichtnachhaltigkeit besteht der didaktische Kern des Moduls:

> „‚Nachhaltigkeit‘ im Bereich institutionalisierter Bildung ernst genommen, hat daher die Aufgabe im Fachunterricht, im schulischen Leben und in außerschulischen Vernetzungen die fachlichen und politischen Dimensionen der Gründe für eine nichtnachhaltige Entwicklung sachlich angemessen zu erarbeiten, um sie zu verstehen und um dadurch Perspektiven sowohl für das individuelle Handeln als auch für die Möglichkeiten kollektiven Handelns zu gewinnen“ (Euler 2014, S. 172).

Für eine gründliche Analyse dieses komplexen Zusammenhangs ist eine reflektierte Sachkompetenz in zweierlei Hinsicht entscheidend: Zum einen als Voraussetzung für die Lehrer*innen, die über das notwendige naturwissenschaftliche und gesellschaftlich-kulturelle Verstehen verfügen müssen, zum anderen als Zielvorstellung für die Schüler*innen, die anhand der damit verbundenen Gegenstände eine solche reflektierte Sachkompetenz entwickeln können sollen. Die Formen, in der Nachhaltigkeit zum Thema werden kann sind dabei vielfältig. Sie reichen von einem einzelnen Fachunterricht, über kombinierten und fächerverbindenden, sowie fächerübergreifenden Unterricht bis hin zu der Form des Projektunterrichts, aber auch in Gestalt einer die Schule als Ganze umfassenden Thematik.

„Es bleibt daher unerlässlich, sowohl
IN DER SCHULE als auch
AN DER SCHULE zu arbeiten.“

## 6 Zum Integrationsproblem einer Bildung für nachhaltige Entwicklung: „Vom Projekt zur Struktur“!?

Ergänzend zu der Analyse nichtnachhaltiger Lebens- und Wirtschaftsweisen sind Analysen von BNE-Programmen – als pädagogische Reaktionen auf Nichtnachhaltigkeit – sowie deren Niederschlag in Bildungseinrichtungen und pädagogischer Forschung weitere zentrale Inhalte des Moduls. Eine Analyse der gesellschaftlichen Funktionen, die etwa BNE-Programme erfüllen sollen, sowie deren jeweiligen Interdependenzen, eröffnet die Möglichkeit, sich der angetragenen Ansprüche bewusst zu werden, Widersprüche zu identifizieren,

sowie eine realistische Einschätzung der Umsetzung dieser Ansprüche zu gewinnen.[19]

In den bisherigen Entwürfen zu BNE zeigt sich durchaus ein Wissen um die systematisch notwendigen allgemeinen Veränderungen, die, Nachhaltigkeit ernst genommen, zu leisten wären: „Bildung zielt – so das Verständnis der UNESCO – auf kritisches Denken, das Verstehen komplexer Systeme, die Beschäftigung mit Zukunftsszenarien und den Erwerb der Fähigkeit, partizipativ und gemeinsam Entscheidungen zu fällen“ (De Haan 2014, S. 159). Dementgegen werden allerdings Lösungen, wie etwa die nach der Entwicklung von Gestaltungskompetenzen (vgl. BLK 2005) favorisiert, die sehr stark individualisierend angelegt sind und die sich stellende Problematik verharmlosen. Yvonne Kehren kommt in ihrer Kritik dieses Konzeptes zu eher ernüchternden Schlussfolgerungen:

> „Die Individualisierung der Nachhaltigkeitsproblematik, in der die Einzelnen als kompetente ‚Gestalter_innen‘ und ‚Problemlöser_innen‘ auftreten und in der die Konzentration auf das individuelle Konsumverhalten statt auf die globalen gesellschaftlichen Produktionsverhältnisse im Vordergrund steht, arbeitet einer Entpolitisierung der Nachhaltigkeit dann zu, wenn sie die Widersprüche globaler Vergesellschaftung nicht einbezieht“ (Kehren 2016, S. 151) und weiter: „Statt Empörung über und Politisierung der globalen Widersprüche steht eine widerspruchsfreie Verhältnisbestimmung von ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten im Zentrum des Konzepts einer Bildung für nachhaltige Entwicklung.“ (ebd., S. 135).

Ebenso ist eine gewaltige Diskrepanz zwischen den mit BNE verbundenen gesellschaftlichen Erwartungen und den zur Verfügung gestellten Rahmenbedingungen zu erkennen. Im Nationalen Aktionsplan BNE für Deutschland 2014 wurde diese Problematik von der Deutschen UNESCO Kommission durchaus programmatisch aufgenommen und als Auftrag, “Vom Projekt zur Struktur“ (DUK 2014) formuliert: „Übergeordnetes Ziel ist die dauerhafte Verankerung des Konzepts der nachhaltigen Entwicklung in allen Bildungsbereichen in Deutschland“ (ebd, S. 4). Die Kultusministerkonferenz bekräftigte 2017 dieses Plädoyer für eine strukturelle Verankerung: „BNE wird – wie bereits 2012 – von allen Ländern weiterhin als eine wichtige Aufgabe und Herausforderung verstanden, die gesellschaftliche Leitidee der Nachhaltigen Entwicklung als selbstverständliche Bildungsaufgabe im formalen Bildungssystem zu verankern. Konkret bedeutet dies, dass die begonnenen

19 Grundlagen hierzu liefern z.B. die Studie ‚Integration und Subversion‘ von Gernot Koneffke, welche die integrative, in die Gesellschaft einbindende Funktion von Pädagogik – einzig als eine über individuelle Einsicht zu legitimierende – fasst. Gerade aber dadurch ist sie zugleich eine mögliche subversive, die je aktuelle Form der Gesellschaft unterlaufende und übersteigende Funktion (Koneffke 1969/2018). Ebenso ist auf Heinz-Joachim Heydorns Analysen „Über den Widerspruch von Bildung und Herrschaft” zu verweisen (Heydorn 1970/2004).

Aktivitäten in den Ländern abgesichert, weiterentwickelt, ausgebaut und noch deutlicher strukturell und systemisch verankert werden sollen.“ (KMK 2017, S. 6)

Doch das, was hier als ‚Modernisierungsstrategie‘ erscheint, verlangt „in Wahrheit eine Revolution im Bildungssystem“. Die Modernisierungsstrategie dagegen, „ignoriert jedoch weitestgehend die identifizierten strukturellen und ideologischen Hemmnisse einer solchen Reform“ (Kehren 2016, S. 100). Eine *einfache* Integration einer BNE in das Bestehende widerspricht ihrem impliziten *revolutionären* Gehalt, bei dem es um nicht weniger geht, als um eine weitgehende Neuausrichtung der gesellschaftlichen Produktion und Reproduktion. Das dazu benötigte Wissen, die Weisen der Vermittlung und die dazu notwendigen Rahmenbedingungen sind daher neu zu denken und zu gestalten. Die Konsequenz, eine Umstrukturierung des Bildungssystems, wurde jedoch bisher gesellschaftspolitisch nicht in Angriff genommen oder gar umgesetzt.

Die Teilnehmer*innen des Moduls stehen später als Lehrer*innen vor der Aufgabe, BNE-Aspekte oder -Programme in ihrem Unterricht zu realisieren. Dabei sind sie mit den unveränderten Gegebenheiten und Rahmenbedingungen konfrontiert, mit welchen eine BNE nur gebrochen vereinbar ist, etwa bezüglich der curricularen Verankerung, der Bedingungen interdisziplinärer Zusammenarbeit oder aber des Selektionsdrucks im bestehenden Schulsystem. Für ein professionelles pädagogisches Denken und Handeln, welches die (hohen) Ansprüchen einer BNE aufnimmt, müssen die Lehrkräfte ein Bewusstsein darüber entwickeln, dass eine Integration von BNE in die gegebenen Bedingungen nicht oder nur selten reibungslos funktionieren kann, dass also *allein* über ihr professionell pädagogisches Lehrer*innen-Handeln ein Gelingen nicht garantiert werden kann.

BNE macht eine Revision von Inhalt und Form der zu vermittelnden Inhalte, der Vermittlungsweise sowie der Strukturen des bestehenden Bildungssystems und dessen Selbstverständnis zwingend. Bildung für nachhaltige Entwicklung nötigt dazu, neu über Bildung, ihre Funktionen und ihre institutionelle Einbettung nachzudenken.

Es bleibt daher unerlässlich, sowohl IN DER SCHULE als auch AN DER SCHULE zu arbeiten.

# 7 Literatur

Adorno, Theodor W. (1980): Theorie der Halbbildung, in: Ders.: Soziologische Schriften 1, Gesammelte Schriften, Band 8. Frankfurt am Main, S. 93-121.

Bardi, Ugo (2013): Der geplünderte Planet. Die Zukunft des Menschen im Zeitalter schwindender Ressourcen. Ein Bericht an den Club of Rome. Vorwort von Ernst U. von Weizsäcker. München.

Bierbaum, Harald (Hg.) (2007): Naturwissenschaft in der Allgemeinen Weiterbildung. Probleme und Prinzipien der Vermittlung von Wissenschaftsverständigkeit in der Erwachsenenbildung. Bielefeld.

Bierbaum, Harald (2013): Verstehen-Lehren. Aufgaben und Probleme der schulischen Vermittlung naturwissenschaftlicher Allgemein-Bildung. Baltmannsweiler.

Bird, Kai und Sherwin, Martin J. (2009): Robert Oppenheimer: Die Biographie. Berlin.

Böhme, Gernot; van den Daele, Wolfgang und Krohn, Wolfgang (1973): Die Finalisierung der Wissenschaft. In: Zeitschrift für Soziologie, Jg. 2, Heft 2. Verfügbar unter: http://www.zfs-online.org/index.php/zfs/article/view/2202, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Bulthaup, Peter (1973/1996): Zur gesellschaftlichen Funktion der Naturwissenschaften. 2. Aufl. Lüneburg.

Bulthaup, Peter (1975): Fachsystematik und didaktische Modelle, in: M. Ewers (Hg.): Naturwissenschaftliche Didaktik zwischen Kritik und Konstruktion. Weinheim und Basel, S. 41 -58.

BLK (Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung) (1998): Orientierungsrahmen „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung“. Bonn. Verfügbar unter: http://www.blk-bonn.de/papers/heft69.pdf, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK) (2005): BLK-Programm „21“ – Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Abschlussbericht des Programmträgers. Bonn.

Carlowitz, Hans Carl von (1713): Sylvicultura oeconomica, oder haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht. Verfügbar unter: urn:nbn:de:bvb:384-uba002974-9, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Daumenlang, Konrad (1969): Physikalische Konzepte junger Erwachsener: ihre Abhängigkeit von Schule und Familienkonstellation. Erlangen-Nürnberg.

De Haan (2014): Nach der Dekade. Konturen eines Weltaktionsprogramms zur Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: Krisen- und Transformationsszenarios. Frühkindpädagogik, Resilienz & Weltaktionsprogramm. Wien, S. 156-165.

Dickerson, Richard E.; Gray, Harry B. und Darensbourg, M. (1988): Prinzipien der Chemie. 2. Überarbeitete Ausgabe, übersetzt von H.-W. Sichting. Berlin-New York.

DUK (Deutsche UNESCO-Kommission e. V.) (2011): UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ 2005–2014. Nationaler Aktionsplan für Deutschland. Verfügbar un-

ter: https://www.unesco.de/sites/default/files/2018-05/UN_Bro_2011_NAP_110817_a_02.pdf, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

DUK (Deutsche UNESCO-Kommission e. V.) (2014): Vom Projekt zur Struktur. Projekte, Maßnahmen und Kommunen der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“, 2. Auflage, Bonn. Verfügbar unter: https://www.unesco.de/sites/default/files/2018-01/vom-Projekt-zur_struktur_2014.pdf, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Eckert, Gregor (2014): Weiter so? Zum Verständnis von Geschichte und Zukunft in Peter Eulers Aktualisierung kritischer Bildungstheorie. In: Harald Bierbaum, Carsten Bünger, Yvonne Kehren und Ulla Klingovsky (Hg.): Kritik – Bildung – Forschung. Pädagogische Orientierungen in widersprüchlichen Verhältnissen. Leverkusen, S. 237–249.

Euler, Peter (1995): Das Subjekt zwischen Hypostasierung und Liquidation. Zur Kategorie des Widerspruchs für die modernitätskritische Revision von Erziehungswissenschaft. In: Peter Euler und Ludwig A. Pongratz (Hg.): Kritische Bildungstheorie. Zur Aktualität Heinz-Joachim Heydorns. Weinheim, S. 203–221. Verfügbar unter: http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/1366, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Euler, Peter (1999): Technologie und Urteilskraft. Zur Neufassung des Bildungsbegriffs. Schriften zur Bildungs- und Erziehungsphilosophie, Bd. 15. Weinheim.

Euler, Peter (2005a): Interdisziplinarität. „Kritisches“ Bildungsprinzip in Forschung und Lehre. In: Torsten Rossmann und Cameron Tropea (Hg.): Bionik. Aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur-und Geisteswissenschaft. Berlin und Heidelberg, S. 291–311.

Euler, Peter (2005b): Interdisziplinarität als kritisches ‚Bildungsprinzip‘ der Forschung: methodologische Konsequenzen. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 14. Jg. (2), S. 63–68.

Euler, Peter (2010): Widersprüchlich. Fördern Bildungsstandards das kritische Verständnis? In: HLZ – Zeitschrift für Erziehung, Bildung und Forschung (03), S. 14–15.

Euler, Peter (2012): Kampf um Bildungszeit. Ein pädagogisch-politischer Konflikt im Kontext nachhaltiger Entwicklung. In: Ernst Peter Fischer und Klaus Wiegandt (Hg.): Dimensionen der Zeit. Die Entschleunigung unseres Lebens. Frankfurt am Main, S. 311–348.

Euler, Peter (2014a): Nachhaltigkeit und Bildung. Plädoyer für ein sachhaltiges Verstehen herrschender Widersprüche. In: Jahrbuch Bildung für nachhaltige Entwicklung 2, Wien, S. 167-74. Verfügbar unter: http://www.umweltbildung.at/uploads/tx_hetopublications/publikationen/pdf/Jahrbuch_2014.pdf, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Euler; Peter (2014b): Nichtnachhaltigkeit verstehen. Pädagogik soll richten, was politisch nicht gelingt. In: HLZ – Zeitschrift für Erziehung, Bildung und Forschung, 12/2014, S. 12-13.

Euler, Peter (2016): Zum Widerspruch von Technologie und Bildung. Bildungstheoretische und bildungspolitische Reflexionen zur „Vernunft im Atomzeitalter“. In: Lothar Wigger, Barbara Platzer, Carsten Bünger (Hrsg.): Nach Fukushima? Zur erziehungs-

und bildungstheoretischen Reflexion atomarer Katastrophen. Internationale Perspektiven. Bad Heilbrunn, S. 194-2013.

Euler, Peter und Luckhaupt, Arne (2010): Historische Zugänge zum Verstehen systematischer Grundbegriffe und Prinzipien der Naturwissenschaften. Materialien für die Unterrichtsentwicklung: zur pädagogischen Interpretation der ‚Basiskonzepte' der Bildungsstandards. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Amt für Lehrerbildung.

Euler, Peter; Husar, Andrea; Luckhaupt, Arne und Schlöder, Paul (2012): „Ha-zwei-Oh" oder: Verstehensprobleme der Formelsprache im Chemieunterricht. Verstehensproblemen auf der Spur- Chemie zugänglich machen. Frankfurt am Main: Hessisches Kultusministerium.

Gruschka, Andreas (2011): Verstehen lehren. Ein Plädoyer für guten Unterricht. Ditzingen.

Hessisches Kultusministerium (2018): Hessisches Schulgesetz (HSchG) in der Fassung vom 30. Juni 2017 (GVBl. S. 150), geändert durch Gesetz vom 3. Mai 2018 (GVBl. S. 82).

Heydorn, Heinz-Joachim (1970/2004): Über den Widerspruch von Bildung und Herrschaft. In: Ders.: Studienausgabe Bd. 3. Wetzlar.

Heydorn, Heinz.-Joachim (1972/2004): Zu einer Neufassung des Bildungsbegriffs. In: Ders.: Studienausgabe Bd. 4. Wetzlar, S. 56-145.

Heydorn, Heinz.-Joachim (1974/2004): Überleben durch Bildung. Umriß einer Aussicht. In: Ders.: Studienausgabe Bd. 4. Wetzlar, S. 254-273.

Horkheimer, Max und Adorno, Theodor W. (1947/1969): Dialektik der Aufklärung, Frankfurt am Main.

Horkheimer, Max (1991): ‚Zur Kritik der instrumentellen Vernunft' und ‚Notizen 1949-1969'. In: Ders.: Gesammelte Schriften, Bd. 6. Frankfurt am Main.

Klafki, Wolfgang (1964): Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In H. Roth und A. Blumenthal (Hrsg.): Auswahl. Grundlegende Aufsätze aus der Zeitschrift „Die Deutsche Schule", Reihe A, Heft 1. Hannover, S. 5-34.

Klein, Julie Thompson (1990): Interdisciplinarity. History, Theory, and Practice. Detroit.

KMK (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2017): Zur Situation und zu Perspektiven der Bildung für nachhaltige Entwicklung – Bericht der Kultusministerkonferenz vom 17.03.2017. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_03_17-Bericht-BNE-2017.pdf, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Koch, Lutz (2015): Lehren und Lernen. Wege zum Wissen. Paderborn.

Koneffke, Gernot (1969/2018): Integration und Subversion. Zur Funktion des Bildungswesens in der spätkapitalistischen Gesellschaft. In: Ders.: Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit, Band 1., Bildungspolitische Analysen und Einsprüche. Baltmannsweiler.

Koneffke, Gernot (1994): Pädagogik im Übergang zur Herrschaftsgesellschaft. Wetzlar.

Kruse, Norbert; Messner, Rudolf und Wollring, Bernd (Hg.) (2012): Martin Wagenschein – Faszination und Aktualität des Genetischen. Baltmannsweiler.

Mittelstraß, Jürgen (2005): Methodische Transdisziplinarität. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 14. Jg. (2), 18-23.

Pukies, Jens (1979): Das Verstehen der Naturwissenschaften. 1. Aufl. Braunschweig.

Schaller, Klaus (1995): Die Didaktik des Johann Amos Comenius zwischen Unterrichtstechnologie und Bildungstheorie. In: Hopmann, Stefan und Riquarts, Kurt (Hrsg.): Didaktik und/oder Curriculum. Grundprobleme einer international vergleichenden Didaktik. Weinheim und Basel, S. 47-60.

Snow, C. P. (1987): Die zwei Kulturen. 1959. In: Helmut Kreuzer und C. P. Snow (Hg.): Die zwei Kulturen. Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz; C. P. Snows These in der Diskussion. München, S. 19-58.

Ströker, Elisabeth (1967): Denkwege der Chemie. Elemente ihrer Wissenschaftstheorie. Freiburg und München.

Toeplitz,Otto (1927): Das Problem der Universitätsvorlesungen über Infinitesimalrechnung und ihrer Abgrenzung gegenüber der Infinitesimalrechnung an den höheren Schulen. In: Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, 36, S.88-99.

Wagenschein, Martin (2013a): Verstehen lehren. Genetisch – sokratisch – exemplarisch. 6. Aufl.. Weinheim und Basel.

Wagenschein, Martin (2013b): Zum Problem des Genetischen Lehrens. In: Martin Wagenschein: Verstehen lehren. Genetisch – sokratisch – exemplarisch. 6. Aufl.. Weinheim und Basel.

Weizsäcker, Ernst Ulrich von; Wijkman, Anders (2017): Wir sind dran. Was wir ändern müssen, wenn wir bleiben wollen. Gütersloh.

World Commission on Environment and Development (1987): Brundtland Report. Our Common Future. Oxford and New York. Verfügbar unter: http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Zentrum für Lehrerbildung (ZfL) TU Darmstadt (2017a): Studienaufbau Lehramt an Gymnasien (Onlinequelle): www.zfl.tu-darmstadt.de/studium/gymnasien/studienaufbau/studienaufbau_lag_1.de.jsp, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Zentrum für Lehrerbildung (ZfL) TU Darmstadt (2017b): Studienordnungen Lehramt an Gymnasien (Onlinequelle): www.zfl.tu-darmstadt.de/studium/gymnasien/studienaufbau/studienaufbau_lag_1.de.jsp, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

## Abkürzungen:

BLK – Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung

BNE – Bildung für nachhaltige Entwicklung

DUK – Deutsche UNESCO Kommission e. V.

KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland

LaG – Lehramt an Gymnasien

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, deutsch: Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur

VeNN – Verstehen von Naturwissenschaft und Nachhaltigkeit