

Systematische und politische Dimensionen des Bildungsziels Wissenschafts-Verständigkeit in den Naturwissenschaften

Peter Euler

I. Vorbemerkung zur Tragweite des Themas

Die Naturwissenschaften gelten im Kontext der Bildung trotz aller vermeintlich unternommenen Anstrengungen ungebrochen als schwer verständlich. Das wäre nicht problematisch, wenn ihnen nicht zugleich mit der Expansion des Industriekapitalismus bis in jüngste Zeit immer entschiedener von den herrschenden Kreisen bildungspolitisch eine überragende Relevanz jüngst unter dem Akronym MINT zugeschrieben würde. Die Gleichzeitigkeit von Unverständlichkeit und gesellschaftlicher Relevanz schafft in mehrfacher Hinsicht wachsende pädagogische Probleme.

II. Zum pädagogischen und wissenschaftspolitischen Dauerproblem des Unterrichts der Naturwissenschaften

Das Problem des Unterrichts der Naturwissenschaften wird nicht erst in der neueren Bildungsreform entdeckt, geschweige denn gelöst. Schon weit vor TIMMS und PISA und den durch sie gepuschten bildungspolitischen Aufregungen, in deren Folge eine quasi-technologische Steuerung des Bildungswesens einsetzt, gab es ein Wissen um die äußerst dürftigen und darüber hinaus auch inhaltlich sehr fragwürdigen Leistungen eines Unterrichts der Naturwissenschaften. „Erste niederschmetternde Ergebnisse über die Erfolglosigkeit des eingeführten Unterrichts in den Fächern Physik, Chemie und Biologie existieren bereits seit den 1960er Jahren (vgl. Dau-menlang 1969).“¹

1 Peter Euler/Arne Luckhaupt, *Historische Zugänge zum Verstehen systematischer Grundbegriffe und Prinzipien der Naturwissenschaften*, Amt für Lehrerbildung (AfL), Frankfurt am Main 2010, 13.

Die Bedeutung der Dissertation von Daumenlang *Physikalische Konzepte junger Erwachsener*² besteht zunächst darin, vom Kreis der Fachleute ignoriert worden zu sein, da die „Befunde an den Grundfesten des naturwissenschaftspädagogischen Weltbildes rütteln.“ Durch seine solide empirische Vorgehensweise, die als „Lehrstück für Bildungsforscher“³ gelten können, wirft Daumenlang nichts Geringeres als die Frage nach der Legitimation des Naturwissenschaftsunterrichts auf. Die Frage „Was bleibt vom Physikunterricht?“ beantwortet er wie folgt, „dass ein direkter Einfluss schulischer Information durch den Naturlehreunterricht auf die Entwicklung physikalischer Konzepte in den betreffenden Bereichen [...] nicht nachzuweisen war (Daumenlang: 169)“⁴. Ein vernichtendes Urteil!⁵ Die Kritik kulminiert seitdem immer wieder in folgenden Eigenschaften: „Attestiert werden stets die geringe Wirksamkeit, sinkende Motivation und breite Inkompetenz.“⁶

Auch in den 80er Jahren attestiert eine Verlaufsstudie in der Klassenstufe 5 bis 10 die gegenläufige Entwicklung des abnehmenden Interesses für das Fach Physik und der Zuschreibung steigender Bedeutung für das Fach durch die Schülerinnen und Schüler. Die Gegenläufigkeit von Interesse und Bedeutung belegt, dass nicht nur ein sinkendes Interesse als „Lernerfolg“ festzustellen ist, da zugleich leider auch gelernt wird, dass dem, wofür man sich immer weniger interessiert, allgemein große Bedeutung beigemessen wird. Insgesamt ergibt sich also ein doppelt negatives Unterrichtsergebnis. „Diese Ergebnisse wurden lange Zeit, nicht zuletzt von den entsprechenden Fachverbänden, unterdrückt. Frühe Kritik, wie sie mit Martin Wagenschein, der gleichsam zum Inbegriff der Pädagogik der Na-

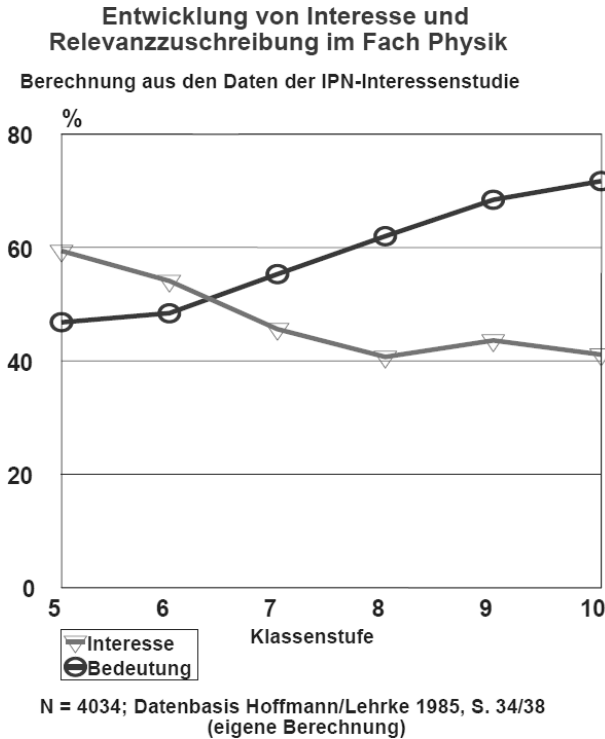
2 Konrad Daumenlang, *Physikalische Konzepte junger Erwachsener. Ihre Abhängigkeit von Schule und Familienkonstellation*, Dissertation, Nürnberg 1969.

3 Rainer Brämer, *Was bleibt vom Physikunterricht?*, in: Wanderforschung (Hg.), *natursociologie.de* 4/1982, 2 ff. Brämer hat der Erstfassung noch eine überarbeitete mit verändertem Untertitel (*Daumenlang und die Grundfesten der Physikdidaktik*) folgen lassen, in: Redaktion Soznat (Hg.): *Naturwissenschaftlicher Unterricht in der Gegenperspektive*, Braunschweig 1982, 74–87. Eine weitere zeitgemäß modifizierte Ausgabe liegt vor in: *www.natursoziologie.de*.

4 Brämer, *Physikunterricht*, a.a.O., 6.

5 Vgl. hierzu Wagenscheins Artikel *Was bleibt? Verfolgt am Beispiel der Physik*, in: Martin Wagenschein, „...zäh am staunen“ – *Pädagogische Texte zum Bestehen der Wissensgesellschaft*, hg. v. Horst Rumpf, Seelze-Velber 2002, 81–98. Es handelt sich hierbei um die „erweiterte Fassung eines Beitrages zu einer Vortragsveranstaltung *Die reformbedürftige Schulreform* vom 4. Juni 1969“. „Der ursprüngliche Wortlaut erschien in der *Schulwarte* (8/1969, 622)“.

6 Euler/Luckhaupt, *Historische Zugänge*, a.a.O., 14.



(Abbildung entnommen aus Heinz Muckenfuß, *Lernen im sinnstiftenden Kontext: Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*, Berlin 1995, 84)

turwissenschaften wurde, einsetzte, gewann die Position eines prominenten Außenseiters⁷. Grundsätzliche Kritikerinnen und Kritiker, wie Martin Wagenschein, Gerda Freise, der „Mentorin der kritischen Naturwissenschaftsdidaktik“⁸, „Peter Bulthaup, Jens Pukies, Michael Ewers, Falk Rieß, Armin Kremer, Wolfgang Dahlmann, Peter Buck und andere blieben Außenseiter, weil ihre politische Dimension dem herrschenden Betrieb widersprach und durch dessen führende Vertreter zum Teil heftige Abwehr (vgl. Buck 1996) erfuhr.“⁹

7 Ebd.

8 Falk Rieß/Lutz Stäudel, Gerda Freise – Mentorin der kritischen Naturwissenschaftsdidaktik, *PädExtra* Juli/August Nr. 7–8, 1994, 60–63.

9 Euler/Luckhaupt, *Historische Zugänge*, a.a.O., 14.

Die Reaktion auf eine grundsätzliche *Kritik am Naturwissenschaftsunterricht* erfolgte in zweierlei Weise: Zum einen, wie im Falle von Daumenlang, durch *Ignoranz*. Zum anderen durch heftige Attacken bzw. *Denunziation*. So sah sich Martin Wagenschein „Mitte der sechziger Jahre immerhin schon fast siebzig Jahre alt“ und prominent, einer „massiven Attacke der Gymnasial-Fachdidaktik gegen seine Bücher ‚Die pädagogische Dimension der Physik‘ und ‚Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken‘ ausgesetzt“. Ähnliches „in allerdings ungleich größerem Ausmaß“¹⁰ geschah Gerda Freise.

Die bildungspolitische Großwetterlage in den 70er Jahren ist geprägt von einer zweifachen Tendenz in der bundesrepublikanischen Entwicklung, die prominent mit den Namen Georg Picht und Ralf Dahrendorf verbunden ist. Picht prägte 1964 den Begriff des „*Bildungsnotstands*“ und der „*Bildungskatastrophe*“ in einer viel beachteten Artikelserie der Wochenzeitschrift *Christ und Welt* (1964), in der er wirtschaftlich verheerende Auswirkungen durch das rückständige Bildungssystem der BRD prognostizierte.¹¹

Dahrendorf sah wiederum im Zustand des Bildungssystems eine Gefahr für die Demokratie, die er in seiner epochalen Streitschrift *Bildung ist Bürgerrecht. Plädoyer für eine aktive Bildungspolitik* 1965 begründete. Er bemängelt darin als zentrales Problem, dass die junge Demokratie zwar eine Teilhabe erlaube, sie aber vielen nicht ermöglicht, daher sei eine diesbezügliche Bildungspolitik von Nöten. Zentral für beides ist die Überwindung der „Stratifikation“¹² des Schulsystems.

Die restaurative Politik der Adenauerära hält an den beiden getrennten Säulen der Hauptschule und des Gymnasiums fest, was sich im Bereich der Naturwissenschaften auch in den entsprechenden Fachverbänden und fachdidaktischen Zeitschriften niederschlägt: einerseits die „Zeitschrift für Naturlehre und Naturkunde für lebensnahen Unterricht in Physik, Chemie und Biologie in Volks- und Realschulen“ (seit 1970 unter dem Titel ‚Naturwissenschaften im Unterricht‘); andererseits „die Vertreter der höheren, gymnasialen Bildung mit dem Deutschen Verein zur Förderung des

10 Gerda Freise, *Für einen politischen Unterricht von der Natur*, hg. v. Armin Kremer/Falk Rieß /Lutz Stäudel, Reihe Soznat, Kritisches Forum Naturwissenschaft und Schule, Bd. 7, Marburg 1994, 6.

11 Zu erinnern ist dabei auch an den sog. Sputnik-Schock von 1957, ausgelöst durch den ersten künstlichen Erdsatelliten Sputnik I der UdSSR.

12 Gernot Koneffke, *Pädagogik lehren an der Universität* (1997), in: H. Bierbaum/K. Herrmann (Hg.), G. Koneffke, *Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit*, Baltmannsweiler 2018, Bd. I, 164.

mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts und ihrer Zeitschrift „Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht“. Die bildungspolitische Entwicklung führte zur Einführung eines wissenschaftsorientierten Unterrichts. Vor allem die ökonomisch potenten Akteure forderten entschieden die Einführung der Naturwissenschaften. Die „Stiftung Volkswagenwerk“ stiftete ein umfangreiches „Förderungsprogramm“, „Fachdidaktik-Lehrstühle“ und gründete 1966 ein großes „Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften in Kiel zur Verwissenschaftlichung des naturwissenschaftlichen Unterrichts“.¹³

Dadurch erfolgte eine bildungstheoretisch und pädagogisch unvermittelte Integration der akademischen Fächer Physik, Chemie, Biologie in den Bildungskanon der Schule und verstärkte das schon tiefgreifend gestörte Verhältnis von Bildung und Naturwissenschaft. Seinen stärksten und internationalen Ausdruck fand dieses in der These der „Two Cultures“ von Ch. P. Snow (1959 in: Kreuzer 1969). „Snow vertrat die These, die literarisch-geisteswissenschaftliche und die naturwissenschaftlich-technische Intelligenz verkörperten zwei grundverschiedene ‘Kulturen’ innerhalb der westlichen Industriegesellschaft. Ihre wechselseitige Entfremdung, die Kluft des Unverständnisses, der Gleichgültigkeit und Aversion zwischen ihnen habe ein unerträgliches Ausmaß erreicht. Die Horizontbeschränkung wirke sich auf beiden Seiten als kulturelle Verarmung aus, habe aber darüber hinaus die ernstesten politisch-sozialen Konsequenzen.“¹⁴

Die These belegt das Scheitern von Kultur. Bildungstheoretisch ist diese gesellschaftliche Entwicklung als die „Vom Bildungsbürgertum zur Funktionselite“¹⁵ beschrieben worden. Die bürgerliche Gesellschaft hielt aus ideologischen Gründen noch an der Bedeutung von Bildung fest, ignorierte dadurch auch den Bildungswert von Naturwissenschaft und Technik, die sie allerdings immer entschiedener als Garanten für die Expansion kapitalistischer Ökonomie fördert.

Die einsetzende Modernisierung des Bildungswesens war geprägt durch eine „Wissenschaftsorientierung der Allgemeinbildung“. „Damit ging für viele Wissenschaftler die von der Allgemeinen Didaktik entworfene Vorstel-

13 Gerda Freise, *Für einen politischen Unterricht*, a.a.O., 5.

14 Peter Euler, *Technologie und Urteilkraft. Zur Neufassung des Bildungsbegriffs*, Weinheim 1999, 22. Vgl. Ch. P. Snow, *Two Cultures* (1959), in: Kreuzer, Helmut (Hg.): *Die zwei Kulturen – Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. C.P.Snows Thesen in der Diskussion*, München 1987 (Stuttgart 1969).

15 Wolfgang Fritz Haug (Hg.), *Vom Bildungsbürgertum zur Funktionselite*, Das Argument – Zeitschrift für Philosophie und Sozialwissenschaften 54, Berlin 1969.

lung einer alle Fächer übergreifenden obersten Zielsetzung der Allgemeinbildung in die Brüche.“ Das führte zu einer „Kolonisierung der Allgemeinbildung durch die Fachwissenschaften“, die bis heute anhält, wodurch sich die Fachdidaktiker immer enger an die Fachwissenschaften anlehnten und die Methodiker des Unterrichts, „sich in allen fachwissenschaftlichen Richtungen als Fachdidaktiker“¹⁶ begriffen.

Vor diesem Hintergrund wird verständlich, warum die Wissenschaftsorientierung keineswegs ein emanzipatorischer Segen gegenüber einer elitären Gymnasial- und einer dumpf-bornierten Volksschulbildung wurde. Wissenschaftsergebnisse zur Pflicht im Curriculum zu machen, bedeutet keineswegs schon zum Verstehen derselben zu führen. Die fatalen Folgen hieraus hat sehr früh Martin Wagenschein erkannt und systematisch bearbeitet.

III. Die Kritik falscher Naturwissenschaftsvermittlung und die Idee einer Wissenschaftsverständigkeit

Martin Wagenschein (1896–1988), der promovierte Physiker und Physiklehrer, hat die grundlegenden Probleme des Verhältnisses von Naturwissenschaft und Bildung erforscht. Alle seine wichtig gewordenen Publikationen u.a. *Natur physikalisch gesehen* (1953), *Zum Begriff des Exemplarischen Lehrens* (1956), *Die Pädagogische Dimension der Physik* (1962), *Verstehen lehren* (1968, viele Auflagen), *Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken* (1968), *Kinder auf dem Wege zur Physik* (1990)¹⁷ drehen sich um dieses Problem und die daraus zu ziehenden pädagogisch-didaktischen Konsequenzen.

Er erkennt, dass die Pädagogik an einem Auffassungsproblem laboriert, das in der Kultur der Industriegesellschaft insgesamt ungelöst ist, da die Naturwissenschaften „in ihrer Bildungsfunktion“ nicht „recht erkannt“¹⁸ seien. „Das hängt nun zusammen mit dem, was ich die *Korruption des Naturverstehens* [Hervorhebung P.E.] in unserer Zeit nennen möchte, etwas

16 Armin Kremer, *Didaktik*, in: Armin Bernhard/Lutz Rothärmel (Hg.), *Handbuch Kritische Pädagogik. Eine Einführung in die Erziehungs- und Bildungswissenschaft*, Weinheim 1997, 81.

17 Die ausführliche Bibliografie findet man im Wagenschein-Archiv auf der Seite der Schweizer Wagenschein-Gesellschaft unter dem Link: <http://martin-wagenschein.de/2/2-1-3-8.htm>.

18 Martin Wagenschein, *Zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Unterrichts*, Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft 2 (1964), 70.

noch nie Dagewesenes. Der Zustand nämlich, daß dem Kind, zunächst außerhalb der Schule, der Beweggrund des Nachdenkens, das Staunen, verschüttet wird: Das Kind wächst auf in der Gesellschaft undurchschaubarer, aber bedienbarer, technischer Wunscherfüller [...] und unter einem Regen öffentlicher Popularisierungen, die sich verständlich geben, in Wahrheit aber versimpelt, nebulos, oft falsch sind.“¹⁹

Die aus einer allgemein verbreiteten falschen Vorstellung der Naturwissenschaften resultierende falsche Vermittlung äußert sich darin, wie Wagenschein vor allem an der Physik zeigt, dass sie zu früh wissenschaftliche Begriffe aus der Fachsystematik einführt und dann zu schnell der Schritt zur Mathematisierung erfolgt. Ein nichtverstandenes, bloß übernommenes Wissen, wirkt nicht aufklärerisch, sondern kann Zusammenhänge verdunkeln, sich „unter Umständen zwischen den Menschen und die Natur“²⁰ setzen. Diese Art des Wissenschaftsverständnisses hat zudem auch einen fatalen antidemokratischen Effekt, nämlich den der Spaltung in „[e]inige wenige fachlich Begeisterte, die Mehrheit aber durch Unverstandenes eingeschüchtert“²¹.

Dieser „Korruption des Naturverstehens“ im Naturwissenschaftsunterricht als „Gegenkonzept“²² entgegenzuwirken, ist für Wagenschein das Ziel einer naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung²³, von der er folgendes erwartet:

- „1. was wir mit Hilfe der naturwissenschaftlichen Denkweise erkennen und bewirken können,
2. was wir noch nicht können [...],
3. was wir niemals, das heißt: von vornherein nicht können werden (etwa aus der Luftdruckkurve den musikalischen Sinn der der Symphonie ableiten oder: aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen uns sagen lassen, was wir tun dürfen und was nicht), insbesondere also

19 A.a.O., 74.

20 Martin Wagenschein, *Verstehen lehren. Mit einer Einleitung von H. von Hentig*, Weinheim, Basel 1999, 61.

21 Martin Wagenschein, *Erinnerungen für morgen. Eine pädagogische Autobiographie*, Weinheim, Basel 2002, 78.

22 Harald Bierbaum, *Zu Martin Wagenscheins Philosophie des Lehrens*, in: H.-C. Koller, R. Reichenbach/N. Ricken (Hg.), *Philosophie des Lehrens*. Paderborn 2012, 65–83, hier 68. https://doi.org/10.30965/9783657775873_006.

23 Martin Wagenschein, „Was bedeutet naturwissenschaftliche Allgemeinbildung?“, in: Ders.: *Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken II*, Stuttgart 1970, 119–135.

4. Dass wir vieles von dem, was wir mit Hilfe der Naturwissenschaften *könnten*, nicht allein deshalb schon tun *dürfen*.“²⁴

In seiner „pädagogischen Theorie und Praxis des Lehrens der Naturwissenschaften, geht es also nicht nur um die spezifische Aufklärung von Sachverhalten der Natur *durch* die Naturwissenschaften, sondern auch um eine Aufklärung *über* die Naturwissenschaft; also über die *Natur* der Naturwissenschaft“²⁵. Erst viel später kommt die Formulierung der „Natur der Naturwissenschaften“ (übertragen aus angelsächsischen Forschungen der „nature of science“) in die deutsche didaktische Diskussion, prominent durch die Arbeiten von Dietmar Höttecke.²⁶

Wagenscheins Insistenz auf einer grundlegend anderen Vermittlung hat das Ziel der „Wissenschaftsverständigkeit“ und dieses ist gerichtet gegen die fatalen Konsequenzen eines falschen Unterrichts, der die Tendenz zur „Wissenschaftsgläubigkeit“ bzw. zu einer „Wissenschaftsfeindlichkeit“ unterstützt bzw. befördert.

IV. Martin Wagenscheins Konzept „Verstehen lehren“: Prinzipien und Tugenden

Für Martin Wagenscheins Weg zur Ermöglichung des Verstehens ist die folgende Tatsache zentral: „Pädagogik hat [...] mit dem werdenden Menschen und – im Unterricht, als Didaktik – mit dem Werden des Wissens in ihm“²⁷ zu tun. Damit wird auch klar, dass „Verstehen“ von allgemeiner Bedeutung für die Pädagogik ist, eben eine „pädagogische Kategorie“²⁸ darstellt.

Auf diesem Weg zum Verstehen sind für Wagenschein zwei Imperative im Subjekt-Sach-Verhältnis konstitutiv: „*Rettet die Phänomene!*“²⁹ und „*Ver-*

24 A.a.O., 134f.

25 Bierbaum, *Wagenscheins Philosophie des Lehrens*, a.a.O., 69.

26 Dietmar Höttecke, *Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*, Berlin 2001.

27 Wagenschein, *Verstehen lehren*, a.a.O., 75.

28 Peter Euler, *Verstehen als pädagogische Kategorie. Am Beispiel subjektiver Sach- und Facherschließung der Naturwissenschaften*, in: Marc Müller/Svantje Schumann (Hg.), *Wagenscheins Pädagogik neu reflektiert*, Münster 2022, 376–403.

29 Martin Wagenschein, *Rettet die Phänomene!*, in: Ders., *Erinnerungen für morgen*, a.a.O., 135–153.

stehen ist Menschenrecht“³⁰. Diese Imperative plädieren für die Eigenständigkeit von Sache und Subjekt im Vermittlungsprozess, sodass die Dinge nicht nur als Stoff für die angestrebte Wissensübernahme und die Subjekte nicht nur als Behälter des Stoffwissens betrachtet und behandelt werden. Das Phänomen ist nämlich mehr, als das von ihm subjektiv erfasste und die Subjekte gewinnen ihre Qualität als solche erst durch das sich auf die Welt einlassende Verstehen derselben.

Wagenschein begreift die „Naturwissenschaften als eine spezifische Auseinandersetzung des Menschen mit der ihn umgebenden Natur“, als ein „Gewordenes und Werdendes“. Und genau darin *haben* sie ihre „pädagogische Dimension“. Wir unterwerfen die Gegenstände der Naturwissenschaften nicht einfach einem ihnen äußerlichen Prozedere, wenn wir sie pädagogisch zu vermitteln versuchen, sondern im Gewordensein haben sie ihre Dimension pädagogischer Erschließbarkeit, „in welchem die Menschheit die Naturwissenschaften als eine spezifische Hinsicht auf Natur herausbildete, sich in den Schüler:innen als Werden dieser Hinsicht gleichsam erneut vollziehen muss“³¹, eben insofern „die Einsicht in den ‚Aspekt-Charakter‘ der Naturwissenschaften, verstanden als Einsicht in deren Prozesse und Grenzen im Unterricht gelingen soll“.³² Eines der bedeutendsten Bücher von Wagenschein heißt denn auch nicht ‚Zur Pädagogisierung der Physik‘, sondern *Die pädagogische Dimension der Physik* (1976). Es gilt also das der Physik eigene pädagogische Moment, eben die „ursprünglichen Zugänge“, wieder zur Entfaltung zu bringen. Der didaktische Fokus hat „geistesgeschichtlich wie individuell [...] zunächst mit der unmittelbaren Betrachtung der ‚naiven Wirklichkeit‘ (ebd.)“ anzuheben. „Das systematische Moment der Vermittlung der Naturwissenschaften im Unterricht fällt so zusammen mit dem grundlegenden Moment ihrer Genese, verstanden als ein ‚werdendes und gewordenes Fragenstellen und Antwortfinden‘ (ebd.). Folglich hat es die ‚Didaktik‘, im hier dargelegten Sinne, ‚mit den Ursprüngen der Unterrichtsgegenstände zu tun‘ (ebd.). Der pädagogische Blick auf diese

30 Martin Wagenschein, *Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken*, Stuttgart 1965, 175–179.

31 Arne Luckhaupt, *Metaphysik und Verstehen. Zur metaphysischen Dimension der Pädagogik der Naturwissenschaften*, Baltmannsweiler 2020, 359. Die insgesamt ausgezeichnete Arbeit Luckhaupts hat auch die Didaktik Wagenscheins äußerst präzise systematisch entfaltet und dadurch bezogen auf aktuelle didaktische Problemlagen zugänglich gemacht. Aus diesem Grund beziehe ich mich in meinen nun folgenden Überlegungen auf die Wagenscheininterpretation von Arne Luckhaupt.

32 A.a.O., 374.

Ursprünge ist darum ‚nie ein Rückschritt [...], denn ein Ursprung geschieht und geschah immer nach vorn‘ (ebd.). Um also ein Verstehen der Naturwissenschaften im Unterricht zu ermöglichen, hat dieser gleichsam die ‚Wiederentdeckung [...] [der] Wissenschaft von Anfang an‘ zu intendieren.“³³

Die Bedeutung und besonders die Faszination des Genetischen ist für den pädagogischen Prozess des Verstehens entscheidend. Der von Wagenschein mit großem G geschriebene Grundsatz des Genetischen besteht für ihn aus drei Elementen: „erstens das exemplarische Prinzip, welches die Auswahl bestimmter, für die unterrichtliche Erschließung geeigneter Probleme leitet, zweitens das genetische Prinzip (mit kleinem ‚g‘), welches den Weg der Wiederentdeckung der Wissenschaft im Unterricht führt, mithin also die Reihenfolge der Gegenstände der unterrichtlichen Sacherschließung bestimmt, an denen so genannte ‚exemplarische[...] Tiefenbohrungen‘ (Wagenschein 1999: 37) vorgenommen werden sollen, drittens das sokratische Prinzip, welches Wagenschein bereits früh als ‚Methode der Selbsttätigkeit‘ (ders. 1965: 62) identifizierte.“³⁴ Diese drei didaktischen Prinzipien stellen die „Vermittlungskategorien zwischen Subjekt und Sache“³⁵ dar und sie werden von Wagenschein als „Auswahl, Reihenfolge und Methode der unterrichtlichen Sacherschließung attribuiert“³⁶.

Dieses „didaktische Fundament“ ist, worauf Luckhaupt explizit hinweist, „in einem erkenntniskritischen Sinne“ entwickelt worden, denn diese drei Tugenden seien solche einer „Formatio“ i.S. einer „Wissenschafts-Verständigkeit“, die sich abgrenzt „gegenüber bloßer ‚Informatio‘, verstanden als reiner Kenntnisnahme von Fakten und Tatbeständen, sowie gegenüber einer ‚Deformatio‘ i.S. eines unreflektierten Spezialistentums (vgl. Wagenschein 1999: 76ff.)“. Die didaktischen Prinzipien des Verstehens stehen also auf der „Lehenseite“ und haben die Funktion, auf der „individuell-subjektiven Verstehensseite“ Tugenden i.S. eines unverkürzten und eben lebendigen

33 A.a.O., 358–360. Zitate im Zitat werden nicht einzeln nachgewiesen, sondern nur gekennzeichnet.

34 A.a.O., 360–361.

35 Harald Bierbaum, *Verstehen-Lehren. Aufgaben und Probleme der schulischen Vermittlung naturwissenschaftlicher Allgemein-Bildung*, Baltmannsweiler 2013, 120.

36 Luckhaupt hat dieses Geflecht der immanenten Beziehungen in den Prinzipien des Genetischen in Wagenscheins Theorie und den ihnen korrespondierenden Tugenden exzellent freigelegt, siehe hierzu die gesamten Ausführungen, Luckhaupt, *Metaphysik und Verstehen*, a.a.O., 359–377.

Wissenschaftsverständnisses bei den Schülerinnen und Schülern zu kultivieren.³⁷

„Dem exemplarischen Prinzip entspricht hierbei, [...] die so genannte ‚Einwurzelung‘, verstanden als dasjenige Moment, welches die ‚Wirklichkeit des Gegenstandes eröffnet“. Hier soll die Begegnung mit der „unpräparierte[n] Wirklichkeit“ erfolgen. „Dem genetischen Prinzip wiederum scheint Wagenscheins ‚Tugend‘ der ‚produktiven Findigkeit‘ (ders.) zu entsprechen: anhand geeigneter, für das jeweilige Fach exemplarischer Themenkreise kann im Unterricht ein ‚produktive[s] Finden‘ (ders.) ermöglicht werden, d.h. den Schüler_innen wird hier die prinzipielle Möglichkeit eingeräumt, „produktiv und kritisch [...] Entdeckungen [vorzunehmen, A.L.]“ (ebd.). Weil solcher Findigkeit zudem ein Moment der ‚Kreativität‘ (ebd.) eigen ist, welches diese damit in die Nähe einer ‚produktiven Phantasie‘ rückt, mag ihr im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess die Spekulation entsprechen, die für die Genese naturwissenschaftlicher Begriffe konstitutiv ist.

Schließlich entspricht dem sokratischen Prinzip die ‚Tugend‘ des ‚kritischen Vermögens‘, verstanden als im Verstehensprozess „immer wieder eingreifende Kontrollinstanz“ (ders.). Weil der prüfende Blick hierbei sowohl die ‚logische Folgerichtigkeit‘ (ebd.) der Begriffsgenese als auch ein Moment der Selbstreflexion umfasst, welches das ‚bruchlose Fortschreiten [der Erkenntnis, A.L.]‘ (ebd.) sichern soll, ergibt sich hier im weitesten Sinn eine Entsprechung zur lebenden Wissenschaft als deren Vermögen, die Möglichkeiten wie die Grenzen der naturwissenschaftlichen Methode reflektieren zu können.“³⁸

Wagenschein denkt ein solches Gelingen nur in Form von relativ langen Lehrgängen, in denen „die ‚Wiederentdeckung einer Wissenschaft von Anfang an“ erfolgen kann, eben „an der Hand eines herausfordernden und aufschließenden Problems, das uns die unpräparierte Wirklichkeit aufgibt.“³⁹

Es kann nicht deutlich genug betont werden, dass Wagenscheins Konzept kein der Sache äußerliches ist, sondern die Sache in ihrer allgemein subjektiven Struktur als Bedingung des Verstehens betrachtet. Deshalb ist die Auffassung von Naturwissenschaft in ihrem spezifischen Verhältnis zur Natur die zu wissende objektive Bedingung für eine am Verstehen orientierte Fachdidaktik. Zu dieser Auffassung der Naturwissenschaft gehört

37 A.a.O., 361.

38 A.a.O., 362.

39 Wagenschein, *Verstehen lehren*, a.a.O., 94.

deshalb auch, der durch falsche Naturwissenschaftsvorstellungen bedingten reduzierten Vorstellung von Natur entschieden zu widersprechen.

Dass Wagenschein das hermeneutische Prinzip des Verstehens auf die Naturwissenschaften anwendet, ist irritierend für diejenigen, die noch an der problematischen Vorstellung Diltheys festhalten: „Die Natur erklären wir, das Seelenleben verstehen wir.“⁴⁰ Da aber die Naturwissenschaften nicht Natur sind, sondern historisch gewordene Erkenntnis über die Natur, können und müssen sie auch hermeneutisch erschlossen werden können.⁴¹ Daher ist für die Pädagogik und Didaktik die Genese der Welt, der Kultur, im hier bearbeiteten Fall der Naturwissenschaften, die Grundlage für ein Verstehensverhältnis von Sache und Subjekt. Das bedeutet, dass für die Lehre die Fakten und die Resultate der Wissenschaft eine ungenügende Basis sind, weil allgemein gesprochen, genetisches Wissen über das Fachwissen die Bedingung für das Verstehen ist. Die Stärkung des Subjekts, seine Urteils- und Handlungsfähigkeit erfolgt nicht durch den Triumph über die Sachen, sondern, ganz im Sinne Adornos, durch den Vorrang des Objekts in dessen Zueignung.⁴²

Es gilt zu erkennen, dass das Fachwissen „explikations-bedürftig“ ist, „sobald man beginnt, sich sowohl für die im allgemeinbildenden elementaren Thema eingebundene Sachlogik als auch für deren Zugänglichkeit zu interessieren.“ Das verlangt aber, dass Lehrende explikations-fähig zu sein haben, um ihrer „Übersetzungsarbeit“ nachkommen zu können. Fallanalysen von Unterrichtsstunden zeigen, dass es nicht um „Demonstration eines fertigen und als Ergebnis zu lernenden Sachverhalts“ gehen darf, sondern um die „Fähigkeit zur Darstellung dieses Wissens“⁴³. Und genau dies hätte auch im Zentrum der Lehramtsstudiengänge zu stehen.

40 Wilhelm Dilthey, *Ideen über eine beschreibende und zergliedernde Psychologie*, in: Ders., *Gesammelte Schriften*, Bd. 5, Leipzig 1924, 144.

41 Siehe hierzu ausführlich Peter Euler, *Einsichten aus der Begriffsgeschichte des Verstehens*, in: Ders., *Verstehen als pädagogische Kategorie*, a.a.O., 381–384.

42 Theodor W. Adorno, *Negative Dialektik*, in: Ders.: *Gesammelte Schriften*, Bd. 6, Frankfurt am Main 1973, 184ff.

43 Andreas Gruschka, *Die Bedeutung fachlicher Kompetenz für den Unterrichtsprozess – ergänzende Hinweise aus der rekonstruktionslogischen Unterrichtsforschung*, Pädagogische Korrespondenz (2008) 38, 55.

V. Die Fachsystematik als zentrales Problem des Verstehens: Über den didaktisch höchst relevanten Unterschied von traditioneller und neuzeitlicher Naturwissenschaft

Die Fachsystematiken der Naturwissenschaften sind nicht irgendein Aspekt für die Didaktik, sondern für sie konstitutiv. Ohne ihr Verständnis bleibt der für die neuzeitliche Wissenschaft entscheidende „immanente[n] Zusammenhang von objektiver Geltung subjektiv gewonnener Erkenntnis“⁴⁴ ungeklärt, leer. Viele naive, auch didaktisierende empirische Vorstellungen von neuzeitlichen Naturwissenschaften bewegen sich im Grunde auf der Ebene vormoderner Wissenschaften.

Die Naturwissenschaften – grob gesprochen in der Physik bis Galilei, in der Chemie bis zur Atomhypothese Daltons – arbeiteten zunächst mit Klassifikationen der anschaulich gegebenen Welt und unterzogen diese methodisch ungeschützten von der Anschauung abstrahierenden Deutungen, um dadurch das metaphysische Wesen der Vorgänge angeben zu können, z.B. das „Schwere“ und das „Leichte“, ein Körper fällt je nach Medium (Öl, Wasser, Luft) verschieden schnell; Verbrennung von Stoffen erfolgt, wenn sie einen Brennstoff enthalten, der bei der Verbrennung entweicht (Phlogistontheorie erst widerlegt durch Lavoisier, der damit die Grundlagen für die moderne Chemie schuf) usw. Die Benennung der Stoffe mit Trivialnamen verunmöglichte zudem, die Fülle empirischer Experimentalerfahrung und das Wissen einzelner Forscher in aufeinander aufbauende produktive Zusammenhänge zu bringen.

Die neuzeitlichen Naturwissenschaften überwinden ihre traditionellen Vorläufer zuallererst in der Physik, durch eine „Unterscheidung zwischen der Ebene der Erscheinungen und den diese Erscheinungen bedingenden Gesetzmäßigkeiten“⁴⁵. Die theoretische Anstrengung besteht jetzt nicht mehr in der Abstraktion von empirisch Gegebenen, sondern in der spekulativen Konstruktion von Zusammenhängen, die objektiv für die beobachtbaren Erscheinungen verantwortlich gemacht werden. Ganz i.S. der berühmten Formulierung von Kant aus der *Kritik der reinen Vernunft*, nach

44 Peter Euler, *Pädagogik und Universalienstreit. Zur Bedeutung von F. I. Niethammers pädagogischer Streitschrift*, Weinheim 1989, 187.

45 Euler/Luckhaupt, *Historische Zugänge*, a.a.O., 28. Folgende Differenzen machen die führenden Theoretiker der frühen Aufklärung diesbezüglich: „Descartes: res extensa und Vorstellung; Hobbes: Körper und Akzidenz; Bacon: Verborgener Prozess und Erscheinung; Locke: primäre und sekundäre Qualitäten“ (Peter Bulthaup, *Zur gesellschaftlichen Funktion der Naturwissenschaften*, Lüneburg 1996, 33, FN 5).

dem er die Arbeiten von Galilei, Torricelli und Stahl anführte: „daß die Vernunft nur das einsieht, was sie selbst nach ihrem Entwurfe hervorbringt, daß sie mit Prinzipien ihrer Urteile nach beständigen Gesetzen vorangehen und die Natur nötigen müsse auf ihre Fragen zu antworten“. Und dann, gleichsam zur Widerlegung heutiger naiv empirischer oder konstruktivistischer Positionen: „Die Vernunft muß mit ihren Prinzipien, nach denen allein übereinkommende Erscheinungen für Gesetze gelten können, in einer Hand, und mit dem Experiment, das sie nach jenen ausdachte, in der anderen, an die Natur gehen, zwar um von ihr belehrt zu werden, aber nicht in der Qualität eines Schülers, der sich alles vorsagen läßt, was der Lehrer will, sondern eines bestellten Richters, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt.“⁴⁶ Genau in dieser theoretisch spekulativen Seite und der Seite der von ihr geleiteten empirischen Arrangements besteht das Wesen der Naturwissenschaften. Das neue naturwissenschaftliche Wissen ist eines von der Hinterbühne der auf der Vorderbühne sich vollziehenden Erscheinungen. Die Resultate der neuzeitlichen Naturwissenschaften sind nicht sichtbare Erkenntnisse, vielmehr bezeichnen sie den gesetzmäßigen Zusammenhang der Erscheinungen.

„Die Zäsur zum neuzeitlichen Programm der Naturwissenschaften besteht vor allem in der systematischen Organisation reproduzierbarer Sachverhalte mittels theoretischer Begriffe und Prinzipien.“⁴⁷ Die dadurch erst mögliche Systematik bringt allerdings nicht nur alles bisherige Wissen in eine übersichtliche Ordnung, sie kann auch, und das ist absolut neu, zur Produktion neuen gültigen Wissens eingesetzt werden. „Die Systematik liefert also nicht nur eine Ordnung des erarbeiteten Wissens, sondern ist auch praktisch, hat Vorhersagequalität, vermag neue Forschung, neue Produktionen anzuleiten.“⁴⁸ Genau hierin besteht dann auch die Beziehung zur Technologie bzw. zur technologischen Zivilisation des Kapitalismus.

„Die zentralen Begriffe und Prinzipien der Fachsystematik sind Reflexionsbegriffe und daher nicht induktiv, aus beobachteten Phänomenen ableitbar. Es handelt sich um gedankliche Konstruktionen, um theoretische Begriffe (Gesetz der Erhaltung der Masse/der Energie, Trägheitsgesetz, Kraftbegriff, Feldbegriff, Quantenbegriff, Atom- und Molekülbegriff, Energiebegriff, Zell- und Genbegriff usw.), die spekulativ zur Deutung einge-

46 Immanuel Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, in: Werkausgabe, Bd. III, Frankfurt am Main 1974, BXIII.

47 Euler/Luckhaupt, *Historische Zugänge*, a.a.O., 28.

48 Ebd.

führt werden. Durch geschickt ausgedachte Versuchsanordnungen ist dann zu überprüfen, ob die theoretischen Annahmen sich auch reproduzierbar, also nicht zufällig, einstellen; genau das macht das naturwissenschaftliche Experimentieren aus.“⁴⁹ Und dies widerspricht den verbreiteten Fehlvorstellungen über die Naturwissenschaften. Naturwissenschaften schauen der Natur nicht einfach die Gesetze ab, sie sind eine Verbindung von Spekulation und systematisch organisierter Erfahrung. Man sieht den fallenden Gegenstand, aber nicht das Gravitationsgesetz. Man sieht die Fällungsreaktion, aber nicht die Gleichung der beteiligten Stoffe, die sie erklärt.

Neu an ihnen ist die „Akkumulation und Integration“ der Einzeluntersuchungen zu einem „System des Wissens“⁵⁰. Die Wissenschaft bringt dadurch Verfahren und Methoden hervor die, sind sie einmal entwickelt und konstitutiv für neues reproduzierbares Wissen geworden, richtig angewandt, auch funktionieren, ohne dass der Anwender verstanden haben muss, was er da tut, wenn er es nur richtig und korrekt tut. Das führt zwangsläufig „zur totalen Vorherrschaft der in Methode und Apparatur vergegenständlichten Arbeit über die lebendige wissenschaftliche Arbeit“⁵¹. Daher betont Bulthaup: „[D]ie Wissenschaft selbst transformiert sich tendenziell in Technologie“. Das gilt sogar für die eigentliche Forschung, für die „Variation und Kombination schon bekannter Verfahren einen immer größeren Teil der Forschung“⁵² ausmachen. Die bloße Anwendung der erfolgreichen Methoden ist dann aber nicht mehr wissenschaftliches Arbeiten. „Durch die Akkumulation, die erscheint, als immer größerer technischer Aufwand [...], überwiegt der Anteil des Erlernbaren, Methodischen [...] immer mehr die produktive Einbildungskraft, der sich die moderne Naturwissenschaft verdankt“⁵³.

Um diesen Sachverhalt verstehen zu können, ist dem Verhältnis von Spekulation und Erfahrung, von Theorie und Empirie didaktisch die zentrale Aufmerksamkeit beizumessen. Das Verhältnis von begründeten Mutmaßungen und Spekulationen und daraus resultierenden empirischen Arrangements ist entscheidend, denn wirkliche Experimente sind solche, die nach ihrer Durchführung belehren können. D.h., sie können, in exemplarischen Ausschnitten, Aufschluss über die objektive Bedeutung des theoretisch Vermuteten geben.

49 Ebd.

50 Bulthaup, *Zur gesellschaftlichen Funktion*, a.a.O., 12f.

51 A.a.O., 46.

52 A.a.O., 14.

53 Luckhaupt, *Metaphysik und Verstehen*, a.a.O., 281.

Der Weg vom Erstaunlichen, über Nachdenken und Experimentalkonstruktion zur möglich werdenden Entscheidung über die hinter den Phänomenen liegenden Gründe, sollte durch die Schülerinnen und Schüler im Unterricht erkennbar und erfahrbar werden können. Dies ist besonders gegenüber didaktischen Allerweltsempfehlungen für guten Unterricht zu betonen, die sich vielstimmig in Empfehlungen nach mehr ‚Anschauung‘ und ‚Experiment‘ ergehen. Denn mit Anschauung die Systematik und damit das „Theoretische“ verstehen zu wollen, ist logisch unmöglich, logischer Unsinn. „Ich kann, auch wenn ich noch so genau hinschaue, das Atom nicht sehen, und auch mit Experimenten kann ich Verständnis verfehlen. Dann nämlich, wenn sie reine Demonstrationen sind oder einfach nur sensationelle Effekte vorführen, wie in vielen sogenannten Science-Centern. Mit Stichflammen und ähnlichem kann ich Erregung schaffen, einen Event-Charakter erzeugen. Aber das Geistige der Wissenschaften wird damit nicht erschließbar.“⁵⁴

Peter Bulthaupt und Jens Pukies haben dieses Problem systematisch analysiert und daraus didaktische Konsequenzen gezogen. Bulthaups erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Studien zeigen, „in welcher Weise der genuin metaphysische Gehalt naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung eingeht in die Systematik der Wissenschaft“⁵⁵. Wobei deutlich wird, dass „die Versuche, das naturwissenschaftliche Wissen zu organisieren, in einem explizit metaphysischen Denken gründen.“ Der naiven Gleichsetzung von Naturwissenschaft und Metaphysiknegation ist – leider üblich geworden, durch die Formel vom nach- oder postmetaphysischen Denken⁵⁶ – gerade auch didaktisch entschieden zu widersprechen.

Pukies hat nach ausführlichen Forschungen und der daraus entfalteten Kritik an der Didaktik hierzu auch praktisch durchgeführten Unterricht (HISTOGEN, historisch genetischer Unterricht) publiziert.⁵⁷ Ganz besonders gilt seine Kritik den Scheinexperimenten: „Mit dieser Methode, mit der Durchführung solch perfekter Demonstrationsexperimente, enthält der Lehrer den Schülern aber wichtige Aspekte und Erkenntnismethoden der

54 Peter Euler, *Experimente retten Unterricht nicht*. Interview in der Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung Nr. 27, 5. Juli 2009.

55 Luckhaupt, *Metaphysik und Verstehen*, a.a.O., 263.

56 Siehe hierzu u.a. Jürgen Habermas *Nachmetaphysisches Denken*. Philosophische Aufsätze, Frankfurt am Main 1992/2020; Matthias Lutz-Bachmann, *Postmetaphysisches Denken? Überlegungen zum Metaphysikbegriff der Metaphysikkritik*, Zeitschrift für philosophische Forschung, 56/3 (2002), 414–425.

57 Jens Pukies, *Das Verstehen der Naturwissenschaften*, Braunschweig 1979.

Naturwissenschaften vor; außerdem betrügt er sie und hindert sie am Lernen. Er betrügt sie aus folgendem Grund: Er führt einen Versuch vor, den er nur in Kenntnis des Ergebnisses durchführen kann, tut aber so, als würde durch diesen Versuch das Ergebnis, das Voraussetzung zur Durchführung des Versuchs ist, gewonnen werden. Der Versuch kann erst am Ende des Erkenntnisakts stehen, dessen Resultat er ist“⁵⁸.

Ein fast durchgängig unbeachteter Unterschied erweist sich hierbei als entscheidend, nämlich der von „allgemeine[r] Naturgesetzlichkeit und universale[m] Naturzusammenhang“⁵⁹. Die neuzeitliche Naturwissenschaft erkennt zwar *allgemeine Naturgesetze*, was aber nicht gleichbedeutend ist mit einem erkannten *universalen Naturzusammenhang*. Die Naturwissenschaft erkennt Naturgesetze, ist aber nicht zuständig für die Natur als Ganze, diese ist überhaupt nicht ihr Thema! Die Äquivokation von Naturgesetz und Naturzusammenhang ist allerdings keineswegs nur ein Denkfehler, vielmehr bestimmt sie die Praxis des Industriekapitalismus. „Wir nutzen sie (die Naturwissenschaften) vor allem als Produktivkraft und spannen sie vor den Karren der Industrie. [...] Das ist in etwa so, als würde man Musik auf Marschmusik reduzieren.“⁶⁰

VI. Verstehen der Naturwissenschaften umfasst notwendig ihre politische Dimension, oder: Vom Zusammenhang der Naturwissenschaft und globaler „nicht-nachhaltiger Entwicklung“

Im Gegensatz zu einem immer haltloseren wissenschaftlichen Fortschritts-optimismus deckt die *Dialektik der Aufklärung* von Horkheimer und Adorno Mitte des 20. Jahrhunderts ihren inneren Widerspruch auf. „Der Mythos geht in die Aufklärung über und die Natur in bloße Objektivität [...]. Die Aufklärung verhält sich zu den Dingen wie der Diktator zu den Menschen. Er kennt sie, insofern er sie manipulieren kann.“ Das impliziert auch die Kritik an den Wissenschaften. „Der Mann der Wissenschaft kennt die Dinge, insofern er sie machen kann.“⁶¹ Das hat grundlegende Auswirkungen:

58 A.a.O., 18.

59 Bulthaup, *Zur gesellschaftlichen Funktion*, a.a.O., 38.

60 Jens Soentgen, *Von den Sternen bis zum Tau. Eine Entdeckungsreise durch die Natur*, Wuppertal 2017, 8.

61 Max Horkheimer/Theodor W. Adorno, *Dialektik der Aufklärung*, Frankfurt am Main 1969, 15.

„Auf dem Weg zur neuzeitlichen Wissenschaft leisten die Menschen auf Sinn Verzicht. Sie ersetzen den Begriff durch die Formel, Ursache durch Regel und Wahrscheinlichkeit.“⁶²

Für jede didaktische Wissenschaftsvermittlung ist daher entscheidend, „gegen jene falsche Gleichung anzudenken, die Fortschritt mit der Moderne identifiziert, ihn mit dem Kapitalismus und ungehemmtem Wachstum gleichsetzt – durchgesetzt auf Kosten der Umwelt und des globalen Südens“⁶³.

Für die didaktische Vermittlung der Naturwissenschaften ist es daher zwingend geboten, deren historische Veränderung zu verstehen. Sie hat ihren Charakter vom Flaggschiff der Aufklärung in der Epoche der Durchsetzung bürgerlicher Gesellschaft dahingehend verloren, dass sie im 20. Jahrhundert zur Bedingung und Dienerin der „bürgerlichen Herrschaftsgesellschaft“⁶⁴ und damit zu einer entscheidenden Bedingung der Kapitalverwertung wurde. Marx hat schon früh die systematische Bedeutung der Naturwissenschaft für die industriekapitalistische Formation analysiert. Er erkennt die „Verwandlung des Produktionsprozesses in bewusste Anwendung der Naturwissenschaft, Mechanik, Chemie etc., für bestimmte Zwecke, Technologie“, welche den Übergang von der formellen zur realen Subsumtion der Arbeit unter das Kapital“⁶⁵ ermöglichte. Dieser erlaubt „die Durchbrechung der organischen Schranke der Produktion“⁶⁶. Mit den

62 A.a.O., 11.

63 Armen Avanesian, *Adorno und die Dialektik des Fortschritts*, Deutschlandfunk, (24.01.2021).

64 Gernot Koneffke, *Pädagogik im Übergang zur Herrschaftsgesellschaft*, Wetzlar 1994.

65 Karl Marx, *Resultate des unmittelbaren Produktionsprozesses*, Frankfurt am Main 1969, 50. In einfacher Näherung kann man die formelle Subsumtion als eine bezeichnen, in der die gegenständliche Tätigkeit noch handwerklich bestimmt bleibt, allerdings aufgeteilt und unter das Kommando des Kapitaleigners gestellt ist (Manufaktur). Bei der realen Subsumtion wird die Arbeit i.w.S. gänzlich verändert und zu einem Anhängsel der industriellen Maschinerie.

66 Peter Bulthaupt, *Fachsystematik und didaktische Modelle*, in: Ders.: *Das Gesetz der Befreiung. Und andere Texte*, Lüneburg 1998, 179–199, hier 188. Die Durchbrechung der „organischen Schranke der Produktion“, – genauer spricht Marx davon, dass die „Werkzeugmaschine [...] von vornherein emanzipiert von der organischen Schranke“ (Marx, *Kapital I*, a.a.O., 394) –, kennzeichnet das zentrale Merkmal der kapitalistischen Produktion. Die Menschen vermögen dadurch ihre Begrenztheit auf die natürlich gegebenen subjektiven und objektiven Bedingungen ihres Tuns grundsätzlich, durch Maschinen (genauer sowohl Energie- als auch Werkzeugmaschinen) zu überwinden. Die dadurch schier unbegrenzte Leistungsfähigkeit, die gesteigerte Produktivität bedeutet eine „Durchbrechung traditionaler und natürlicher Grenzen“ (Peter Euler, *Veraltet die Bildung oder Kritische Bildungstheorie im vermeintlich „nachkriti-*

neuezeitlichen Naturwissenschaften entsteht zwar dadurch erstmals in der Geschichte die Bedingung einer industriellen Produktion, die die Befreiung von Armut, Elend und Mangel aller Menschen möglich machte, doch dieser Fortschritt bleibt gefesselt an die Verwertung des Werts, welche die Entfaltung ihres menschheitlichen Befreiungspotentials verhindert. Marx hat in dem erst von Engels herausgegebenen Band 3 des *Kapitals* Fragen dieser Art unter dem Begriff des „Reichs der Freiheit“ behandelt. Hieraus eine Passage: „Das Reich der Freiheit beginnt in der Tat erst da, wo das Arbeiten, das durch Not und äußere Zweckmäßigkeit bestimmt ist, aufhört; [...] Die Freiheit in diesem Gebiet kann nur darin bestehen, dass der vergesellschaftete Mensch, die assoziierten Produzenten, diesen ihren Stoffwechsel mit der Natur rationell regeln, unter ihre gemeinschaftliche Kontrolle bringen [...]. Die Verkürzung des Arbeitstags ist die Grundbedingung.“⁶⁷

Die Naturwissenschaften können ihr befreiendes Potential also erst in einer Wirtschaft und Gesellschaft realisieren, die die Realisierung allgemeiner Versorgung und Freiheit zum Ziel hat, und nicht als Abfallprodukt der Profitmaximierung.⁶⁸

Ohne die Durchbrechung der organischen Schranke wäre auch die aufwendige Institution eines allgemeinbildenden Schulwesens real unmöglich gewesen. Im Unterschied zu vielen Bildungstheoretikern haben Heinz-Joachim Heydorn, Hans-Jochen Gamm und Gernot Koneffke ihren Blick nicht nur auf die Ideengeschichte, sondern auf den Skandal der „weit hinter ihren Möglichkeiten zurückbleibenden Zustände institutioneller Erziehung und

schen“ *Zeitalter!*, Pädagogische Korrespondenz Heft 26, Winter 2000/01, 24). Das Gegebene wird tendenziell durch das Gemachte substituiert. Die damit gewonnene tatsächlich mögliche Freiheit gewinnt aber angesichts der total werdenden Kapitalisierung einen Umschlag in maßlose Zerstörung. Die Durchbrechung der organischen Schranke zeigt sich konkret u.a. auch an den neuen, eben künstlichen Produkten, wie z.B. künstliche Elemente (Transurane), Kunststoffe, Künstliches Leben (Klonen), Künstliche Intelligenz, technologische Mobilität (u.a. Aufbruch ins Weltall), usw.

67 Karl Marx, *Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie. Dritter Band, Buch III: Der Gesamtprozess der kapitalistischen Produktion*, hg. v. Friedrich Engels, in: MEW Band 25, Berlin 1979, 828.

68 Ein unmittelbarer Beleg dafür, dass alleine schon Erkenntnis und Technologie nicht ausreichen, um global human wirken zu können, ist während der Coronakrise der erbärmliche Streit um den Zugang zur Produktion von Impfstoffen in ärmeren Staaten der Erde im Rahmen des COVAX Programms der WHO.

Bildung“⁶⁹ gerichtet, also auf die herrschende „Missbildung“⁷⁰, die nach Neuordnung förmlich schreit, um endlich ihrer Aufgabe einer allgemeinen Menschenbildung für alle nachkommen zu können.

Die destruktive Tendenz der Zivilisation zeigt sich drastisch mit durchdringender Wirkung in der Entwicklung der Wissenschaften. Die Atomphysik steht wissenschaftsgeschichtlich zentral dafür, dass die Gleichsetzung von Wissenschafts- und Humanitätsfortschritt unhaltbar geworden ist. Als Beleg ziehe ich aus der Fülle der Dokumente hier die Biographie von Robert Oppenheimer heran. „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.“⁷¹

Die ‚Bombe‘ ist das Fanal einer Wissenschaftsentwicklung, die ihren Sachgrund in der Eingriffstiefe in die natürliche Materie hat, im Falle der Physik durch die Manipulation der Kerne der anorganischen Materie; bald darauf mit der Gentechnologie eine, die Eingriffe und damit Manipulationen in die Kerne der organischen Materie eröffneten. Und schließlich ist mit der IT- und Digitaltechnologie eine entstanden, die Eingriffe und Manipulationen in den Kern der Kommunikation und damit der sozialen Organisation und des Selbstverständnisses von Gesellschaft und Kultur eröffnet.⁷²

69 Peter Euler, Rezension: Gernot Koneffke, *Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit. Materialistische Bildungstheorie als politische Explikation der Pädagogik*, in: *Das Argument* 332, Hamburg 2019, 312–313, 312.

70 Gernot Koneffke, *Globalisierung und Pädagogik. Bemerkungen zu einer alten vertrackten Beziehung*, in: Ders. *Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit. Materialistische Bildungstheorie als politische Explikation der Pädagogik*, Band II, Hohengehren 2018, 189–202, hier 201.

71 Kai Bird/Martin J. Sherwin, *Robert Oppenheimer, Die Biographie*, Berlin 2009, 14f. Die Biographen von Oppenheimer, Kai Bird und Martin J. Sherwin, erhielten für diese monumentale Studie 2006 den Pulitzer-Preis. Siehe hierzu meinen Aufsatz: Zum Widerspruch von Technologie und Bildung. Bildungstheoretische und bildungspolitische Reflexionen zur „Vernunft im Atomzeitalter“, in: L. Wigger, B. Platzer, C. Bünger (Hg.), *Nach Fukushima? Zur erziehungs- und bildungstheoretischen Reflexion atomarer Katastrophen. Internationale Perspektiven*, Bad Heilbrunn 2017, 194–213. <https://doi.org/10.3726/JJP2017.20>.

72 Vgl. hierzu Euler, *Technologie und Urteilskraft*, a.a.O., 7f.

Die faktische Ignoranz gegenüber der Differenz von Naturgesetzlichkeit und Naturzusammenhang ist der kapitalgetriebenen Ökonomie im Prinzip eigen. Die Blindheit der Naturwissenschaften für die Natur als Ganze macht sie zum Instrument eines Prozesses, der für die Gattung existenzbedrohend ist. „Der Gesamtzusammenhang der Naturerscheinungen ist mit den Methoden der exakten Naturwissenschaften nicht zu erfassen.“ Erkenntnistheoretisch ist ohnehin klar, dass „das Problem des Gesamtzusammenhangs überdies reflexiv“ ist, weil „seine Lösung [...] immer schon den Mechanismus einbegreifen“ müsste, „der es zu lösen sucht“⁷³. Die Natur als Ganze kann niemals Teil einer partikularen Betrachtung sein; denn das liefe auf die Vorstellung einer Welt noch einmal in dieser Welt hinaus!

Schon 1973, also ein Jahr nach dem berühmten Bericht des Club of Rome: *Die Grenzen des Wachstums*, schildert Bulthaup beispielhaft aus einer Studie, wie der Versuch durch Einsatz chemischer Mittel auf den Philippinen den Reisertrag zu steigern, durch Kontamination der Gewässer zur erheblichen Reduktion der Fischbestände führte. Dadurch war die „Nahrungsausbeute insgesamt geringer“ und durch den „geringeren Proteinanteil noch qualitativ schlechter“⁷⁴. Aus der Übertragung von Erkenntnissen aus partikularen Zusammenhängen auf den Naturzusammenhang, unter der Fiktion der Naturbeherrschung, resultiert eine gefährliche Lage für die Reproduktionsbedingungen der Menschen, eben die einer nicht-nachhaltigen Entwicklung, in der Naturwissenschaftler „ohne ihren Willen zu Ingenieuren des Untergangs der Gattung“⁷⁵ werden können. Der Kapitalismus wird faktisch zum „Allesfresser“, der „seine eigenen Grundlagen verschlingt“⁷⁶.

73 Bulthaup, *Zur gesellschaftlichen Funktion*, a.a.O., 22.

74 Ebd.

75 A.a.O., 19.

76 Nancy Fraser, *Der Allesfresser. Wie der Kapitalismus seine eigenen Grundlagen verschlingt*, Berlin 2023.

VII. Konsequenzen für die fachpädagogische Forschung und Lehre in Stichworten

Verstehen als pädagogische Kategorie

Grundsätzlich hat im Bereich von Schule und Unterricht, Lehramtsstudium und der Fortbildung der Lehrkräfte die Gesamtorientierung am „Verstehen als pädagogische(r) Kategorie“⁷⁷ zu erfolgen.

Re-Vision der Vorstellungen des Verhältnisses von Naturwissenschaft und Natur

Das Verhältnis von Natur und Naturwissenschaft hat ein entscheidender Aspekt von Forschung und Lehre zu sein. Wichtig dabei sind sowohl die metaphysischen Implikationen naturwissenschaftlicher Erkenntnis als auch die „Janusköpfigkeit“ der politisch-gesellschaftlichen Praxis der Naturwissenschaften.

Bewusstsein der strukturellen Ver- und Behinderungen schulischen Verstehen-Lehrens

Im Sinne einer „kritischen Professionalisierung“⁷⁸ ist im Lehramt ein Bewusstsein der strukturellen Behinderungen des Verstehens zu entwickeln,⁷⁹ um sich im Interesse einer genuin pädagogischen Praxis engagieren zu können.

Die Notwendigkeit eines fach-pädagogischen Problembewusstseins

Die Identifikation von in der Sache bestehenden Problemen des Verstehens, erfordert

77 Ausführlich hierzu Euler, *Verstehen als pädagogische Kategorie*, a.a.O., 376–380.

78 Astrid Messerschmidt, *Vorwort*, in: J. Seyss-Inquart/A. Czejkowska (Hrsg.), *Schule vermitteln: Kritische Beiträge zur Pädagogischen Professionalisierung*. Wien 2013, 9–12, hier 11.

79 Vgl. Bierbaum, *Verstehen-Lehren*, a.a.O.

1. ein *fachpädagogisches Bewusstsein* von Lehrerinnen und Lehrern, für das es reflektierendes und genetisches Wissen über das Fachwissen bedarf, eines, das Entstehungs- und Begründungs-, aber auch Verwendungs- und Verwertungszusammenhänge kennt.
2. die Fähigkeit zur *Schülervorstellungsanalyse*.
3. *historisch originäre Quellen* über systematisch entscheidende Entwicklungsbrüche der Fachtheorie um sie als *Unterrichtsmaterial* einzusetzen.⁸⁰

Beschreibende Naturwissenschaften und Transformation zur nachhaltigen Entwicklung

Die Vorstellung nur Physik, Chemie und Teile der Biologie⁸¹ seien Naturwissenschaften, muss durch Kenntnisse der beschreibenden bzw. der „historischen Naturwissenschaften, wie die Geologie oder die Kosmologie oder auch die Paläontologie“ überwunden bzw. erweitert werden. „In Zukunft mögen sie (die Naturwissenschaften P.E.) uns wieder lehren, sensibler wahrzunehmen“⁸². Entscheidend ist, ein substanziell kritisches Verhältnis zu den Naturwissenschaften zu ermöglichen, damit sie im Kontext der Umweltwissenschaften zur Transformation einer global-nachhaltigen Entwicklung beitragen.

Literatur

- Adorno, Theodor W.: *Negative Dialektik*, in: Ders.: Gesammelte Schriften, Bd. 6. Frankfurt am Main 1973.
- Adorno, Theodor W.: *Theorie der Halbbildung*, in: Ders.: Gesammelte Schriften, Bd. 8., Frankfurt am Main 1980, 93–121.
- Anton, Michael A.: *Vom Sinn und Unsinn der Experimente im Chemieunterricht*, in: Elke Sumfleth (Hg.), *Chemiedidaktik im Wandel – Gedanken zu einem neuen Chemieunterricht. Festschrift für Altfried Gramm*, Münster 1999, 278–311.
- Avanessian, Armen: *Adorno und die Dialektik des Fortschritts*. Deutschlandfunk, (24.01.2021) <https://www.deutschlandfunkkultur.de/philosophische-flaschenpost-adorno-und-die-dialektik-des-100.html>.
- Bird, Kai/Sherwin, Martin J.: *Robert Oppenheimer, Die Biographie*, Berlin 2009.

80 Ausführlicher hierzu Euler/Luckhaupt, *Historische Zugänge*, a.a.O., 35–40.

81 Siehe hierzu *Die zweifache Biologie: Lebensbeschreibung, Lebensanalyse und Lebensproduktion*, in: Euler/Luckhaupt, *Historische Zugänge*, a.a.O., 141ff.

82 Soentgen, *Von den Sternen bis zum Tau*, a.a.O., 8.

- Bierbaum, Harald: *Zu einigen Gründen des "Scheiterns" naturwissenschaftlichen Unterrichts*, in: Dietmar Höttecke (Hg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich* (Tagungsband Nr. 27 zur Jahrestagung der GDGP in Bern 2006), Berlin 2007, 172–174.
- Bierbaum, Harald: *Zu Martin Wagenscheins Philosophie des Lehrens*, in: Hans Christoph Koller/Roland Reichenbach/Norbert Ricken (Hg.), *Philosophie des Lehrens*, Paderborn 2012, 65–83. https://doi.org/10.30965/9783657775873_006
- Bierbaum, Harald: *Verstehen-Lehren. Aufgaben und Probleme der schulischen Vermittlung naturwissenschaftlicher Allgemein-Bildung*, Baltmannsweiler 2013.
- Bierbaum, Harald: *Über das herrschende Des-/Interesse am schulischen Nicht-Verstehen*, in: Karl-Heinz Dammer/ Thomas Vogel/Helmut Wehr (Hg.), *Zur Aktualität der Kritischen Theorie für die Pädagogik*, Wiesbaden 2015, 127–141.
- Brämer, Rainer: *Über die Wirksamkeit des Physikunterrichts – Zum 10jährigen Unter-gang der Untersuchung Konrad Daumenlangs*, in: *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/ Chemie*, H1/1980, 10 – 17.
- Brämer, Rainer: *Was bleibt vom Physikunterricht?*, in: *Wanderforschung* (Hg.), *naturso-ziologie.de* 4/1982, 2 – 12.
- Buck, Peter/Freise, Gerda: „Chemieunterricht kann nicht in der Art des von Martin Wagenschein beschriebenen Lehrens und Lernens stattfinden“ – der Briefwechsel zwischen Freise und Wagenschein, Teil I; Gerda Freise: *Integrierter naturwissenschaft-licher Unterricht und naturwissenschaftliche Allgemeinbildung* – der Briefwechsel zwischen Freise und Wagenschein Teil II, in: *chimica didactica* 22 (1996), 347–378.
- Bulthaupt, Peter: *Zur gesellschaftlichen Funktion der Naturwissenschaften*, Frankfurt am Main 1973, Lüneburg 1996.
- Bulthaupt, Peter: *Fachsystematik und didaktische Modelle*, in: Ders.: *Das Gesetz der Befreiung. Und andere Texte*, Lüneburg 1998, 179–199.
- Daumenlang, Konrad: *Physikalische Konzepte junger Erwachsener. Ihre Abhängigkeit von Schule und Familienkonstellation*, Dissertation, Nürnberg 1969.
- Dilthey, Wilhelm: *Ideen über eine beschreibende und zergliedernde Psychologie*, in: Wilhelm Dilthey, *Gesammelte Schriften*. Bd. 5, Leipzig 1924.
- Euler, Peter: *Pädagogik und Universalienstreit. Zur Bedeutung von F. I. Niethammers pädagogischer Streitschrift*, Weinheim 1989.
- Euler, Peter: *Technologie und Urteilskraft. Zur Neufassung des Bildungsbegriffs*, Wein-heim 1999.
- Euler, Peter: *Veraltet die Bildung oder Kritische Bildungstheorie im vermeintlich „nach-kritischen“ Zeitalter?*, *Pädagogische Korrespondenz*. Winter 1/26 (2000), 5 – 27.
- Euler, Peter: *Über „Die Stunde der Ingenieure, Technologische Intelligenz und Politik“ von Eugen Kogon – oder – Technologie und Humanität, eine noch zu lernende Lektion für unsere Kultur*, in: *Das Maß aller Dinge. Zu Eugen Kogons Begriff der Humanität*, TUD Schriftenreihe Wissenschaft und Technik 81 (2001), 79 – 95.
- Euler, Peter: Interview mit Jacqueline Vogt: *Experimente retten Unterricht nicht*, Frank-furter Allgemeine Sonntagszeitung 5. Juli 2009, Nr. 27.
- Euler, Peter: *Widersprüchlich. Fördern Bildungsstandards das kritische Verständnis?*, in: *HLZ Jg. 63/3* (2010), 14f.

- Euler, Peter/Luckhaupt, Arne: *Historische Zugänge zum Verstehen systematischer Grundbegriffe und Prinzipien der Naturwissenschaften. Materialien für die Unterrichtsentwicklung: Zur pädagogischen Interpretation der »Basiskonzepte« der Bildungsstandards*, Amt für Lehrerbildung (AfL), Frankfurt am Main 2010.
- Euler, Peter/Husar, Andrea/Luckhaupt, Arne/Schlöder, Paul: „Ha-zwei-Oh“ oder: *Verstehensprobleme der Formelsprache im Chemieunterricht. Verstehensproblemen auf der Spur – Chemie zugänglich machen*, Amt für Lehrerbildung Hessen, Frankfurt am Main 2012.
- Euler, Peter: *Zum Widerspruch von Technologie und Bildung. Bildungstheoretische und bildungspolitische Reflexionen zur „Vernunft im Atomzeitalter“*, in: Lothar Wigger, Barbara Platzer, Carsten Bünger (Hg.): *Nach Fukushima? Zur erziehungs- und bildungstheoretischen Reflexion atomarer Katastrophen. Internationale Perspektiven*, Bad Heilbrunn 2017, 194–213. <https://doi.org/10.3726/JP2017.20>
- Euler, Peter: *Rezension: Koneffke, Gernot, Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit. Materialistische Bildungstheorie als politische Explikation der Pädagogik*, 2 Bde., hg. v. Harald Bierbaum und Katharina Herrmann, Schneider Verlag, Baltmannsweiler 2018, in: *Das Argument* 332, Hamburg 2019, 312–313.
- Euler, Peter: *Verstehen als pädagogische Kategorie. Am Beispiel subjektiver Sach- und Facherschließung der Naturwissenschaften*, in: Marc Müller/Svantje Schumann (Hg.), *Wagenscheins Pädagogik neu reflektiert. Mit Martin Wagenschein Bildungserfahrungen verstehen und unterstützen. Gespräche zum Sachunterricht*, Band 2. Münster 2022, 376–403.
- Gruschka, Andreas: *Die Bedeutung fachlicher Kompetenz für den Unterrichtsprozess – ergänzende Hinweise aus der rekonstruktionslogischen Unterrichtsforschung*, Pädagogische Korrespondenz 38 (2008), 44–79.
- Fraser, Nancy: *Der Allesfresser. Wie der Kapitalismus seine eigenen Grundlagen verschlingt*, Berlin 2023.
- Freise, Gerda: *Für einen politischen Unterricht von der Natur*, hg. v. Kremer, Arnim/Falk Rieß/Lutz Stäudel, Reihe Soznat, Bd.7, Marburg 1994.
- Freise, Gerda: *Nachruf: JENS PUKIES*, Soznat, Blätter für soziale Aspekte des naturwissenschaftlichen Unterrichts 3/1(1980), 3–7.
- Gamm, Hans-Jochen: *Das Elend der spätbürgerlichen Pädagogik*, München 1972.
- Habermas, Jürgen: *Nachmetaphysisches Denken*. Philosophische Aufsätze, Frankfurt am Main 1992/2020.
- Haug, Wolfgang Fritz: *Vom Bildungsbürgertum zur Funktionselite*, *Das Argument* 54, Berlin 1969.
- Heydorn, Hans-Joachim: *Über den Widerspruch von Bildung und Herrschaft*, in: Heinz-Joachim Heydorn, Studienausgabe Bd. 3, Wetzlar 2004.
- Horkheimer, Max/Adorno, Theodor W.: *Dialektik der Aufklärung*, Frankfurt 1969.
- Höttecke, Dietmar: *Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*, Berlin 2001.
- Kant, Immanuel: *Kritik der reinen Vernunft*, in: Wilhelm Weischedel (Hg.), *Werkausgabe STW Bd. III*, Frankfurt am Main 1974.

- Koneffke, Gernot: *Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit*, Zwei Bde., hg. v. Harald Bierbaum/Katharina Herrmann, Hohengehren 2018.
- Koneffke, Gernot: *Integration und Subversion. Zur Funktion des Bildungswesens in der spätkapitalistischen Gesellschaft* (1969), in: Gernot Koneffke, *Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit*, Bd. I, Hg.: Harald Bierbaum/Katharina Herrmann, Hohengehren 2018, 115–147.
- Koneffke, Gernot: *Pädagogik lehren an der Universität*, in: Gernot Koneffke, *Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit*, Bd. I, Hg.: Harald Bierbaum/Katharina Herrmann, Hohengehren 2018, 163–169.
- Koneffke, Gernot: *Pädagogik im Übergang zur Herrschaftsgesellschaft*, Wetzlar 1994.
- Koneffke, Gernot: *Dennoch. Bildung als Prinzip. Anmerkungen zu einer Diskussion des Bildungsbegriffs* (1986), in: Gernot Koneffke, *Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit*, Bd. I, Hg.: Harald Bierbaum/Katharina Herrmann, Hohengehren 2018, 189–196.
- Koneffke, Gernot: *Globalisierung und Pädagogik. Bemerkungen zu einer alten vertrackten Beziehung*, in: Ders. *Widersprüche bürgerlicher Mündigkeit. Materialistische Bildungstheorie als politische Explikation der Pädagogik*, Band II, Hohengehren 2018, 189–202.
- Kremer, Arnim/Georg Nolte/Rainer Brämer (Hg.): *SOZNAT – Blätter für soziale Aspekte der Naturwissenschaften und des naturwissenschaftlichen Unterrichts*, Marburg 1978–1986.
- Kremer, Arnim/Lutz Stäudel: *Das Scheitern des naturwissenschaftlichen Unterrichts*, in: WECHSELWIRKUNG, Heft 59 1993, 40–43.
- Kremer, Arnim: *Didaktik*, in: Armin Bernhard/Lutz Rothermel (Hg.), *Kritische Pädagogik. Eine Einführung in die Erziehungs- und Bildungswissenschaft*, Weinheim 1997.
- Kremer, Arnim: *Kritische Naturwissenschaftsdidaktik: Theoretisches Selbstverständnis und Reformpraxis im Wandel*, in: Armin Bernhard/Armin Kremer/Falk Rieß (Hg.), *Kritische Erziehungswissenschaft und Bildungsreform. Programmatik – Brüche – Neuansätze*, Bd. 2, Hohengehren 2003, 233–264.
- Kreuzer, Helmut (Hg.): *Die zwei Kulturen – Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. C.P.Snows Thesen in der Diskussion*, München 1987 (Stuttgart 1969).
- Kruse, Norbert/Messner, Rudolf/Wollring, Berns (Hg.): *Martin Wagenschein – Faszination und Aktualität des Genetischen*, Baltmannsweiler 2012.
- Luckhaupt, Arne: *Metaphysik und Verstehen. Zur metaphysischen Dimension der Pädagogik der Naturwissenschaften*, Baltmannsweiler 2020.
- Luckhaupt, Arne: *Genetische Grabungen als aufschlüsselnder Zugang zum Verstehen*, in: Bernholt, Sascha (Hg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht*, GDGP 2013, Kiel 2014, 390–392.
- Lutz-Bachmann, Matthias: *Postmetaphysisches Denken? Überlegungen zum Metaphysikbegriff der Metaphysikkritik*, Zeitschrift für philosophische Forschung, 56 (2002), 414–425.
- Marx, Karl: *Resultate des unmittelbaren Produktionsprozesses*, Frankfurt am Main 1969.
- Marx, Karl: *Das Kapital: Kritik der politischen Ökonomie, Erster Band, Buch I: Der Produktionsprozeß des Kapitals*, in: MEW (Marx-Engels-Werke) Band 23, Berlin 1977.

- Marx, Karl: *Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie. Dritter Band, Buch III: Der Gesamtprozess der kapitalistischen Produktion*, hg. v. Friedrich Engels, in: MEW Band 25, Berlin 1979.
- Masschelein, Jan/Simons, Maartens: *Die Schule und die Universität reklamieren*, in: Lothar Wigger, Barbara Platzer, Carsten Bünger (Hg.), *Nach Fukushima? Zur erziehungs- und bildungstheoretischen Reflexion atomarer Katastrophen. Internationale Perspektiven*, Bad Heilbrunn 2017, 37–53.
- Messerschmidt, Astrid: *Vorwort*, in: Julia Seyss-Inquart/Agnieszka Czejkowska (Hrsg.), *Schule vermitteln: Kritische Beiträge zur Pädagogischen Professionalisierung*, Wien 2013, 9–12.
- Muckenfuß, Heinz: *Lernen im sinnstiftenden Kontext: Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*, Berlin 1995.
- Müller, Marc/Schumann, Svantje: *Wagenscheins Pädagogik neu reflektiert. Mit Martin Wagenschein Bildungserfahrungen verstehen und unterstützen. Gespräche zum Sachunterricht*, Band 2, Münster 2022.
- Pukies, Jens: *Das Verstehen der Naturwissenschaften*, Braunschweig 1979.
- Rieß, Falk/Stäudel, Lutz: Gerda Freise – Mentorin der kritischen Naturwissenschafts-didaktik, *PädExtra* Juli/August Nr. 7–8, 1994, 60–63.
- Rumpf, Horst/Kranich, Ernst Michael/Buck, Peter: *Welche Art von Wissen braucht der Lehrer: ein Einspruch gegen landläufige Praxi*, Stuttgart 2000.
- Soentgen, Jens: *Von den Sternen bis zum Tau. Eine Entdeckungsreise durch die Natur*, Wuppertal 2017.
- SOZNAT Archiv: Zeitschrift: <https://www.guteunterrichtspraxis-nw.org/soznat-Zeitschrift.html>.
- Wagenschein, Martin: *Naturwissenschaft und Bildung*, in: *Die Erziehung* 8 (1932/33) 5, 273–285.
- Wagenschein, Martin: *Zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Unterrichts*, *Zeitschrift für Pädagogik*, 2 (1964), 70–85.
- Wagenschein, Martin: *Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken*, Stuttgart 1965.
- Wagenschein, Martin: *Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken II*, Stuttgart 1970.
- Wagenschein, Martin: *Verstehen lehren. Mit einer Einleitung von H. von Hentig*, Weinheim, Basel 1999/1969.
- Wagenschein, Martin: *Die pädagogische Dimension der Physik*, Braunschweig 1976.
- Wagenschein, Martin: *Was bleibt? Verfolgt am Beispiel der Physik*, in: Ders., „...zäh am staunen“ – Pädagogische Texte zum Bestehen der Wissensgesellschaft, hg. v. Horst Rumpf, Seelze-Velber 2002, 81–98.
- Wagenschein, Martin: *Erinnerungen für morgen. Eine pädagogische Autobiographie*, Weinheim, Basel 2002.

