

Energie und Energieumwandlungen im inklusiven Unterricht - Vorstellung und Erprobung eines Unterrichtskonzepts -

Stefan Brackertz*, David Kolkenbrock*, Andreas Kissenbeck⁺, René Schroeder[#], Andreas Schulz*

*Universität zu Köln, ⁺Gesamtschule Köln-Holweide, [#]Universität Bielefeld
Andreas.Schulz@uni-koeln.de

Kurzfassung

Alle Prozesse im Universum und im Leben sind mit Energieumwandlungen verbunden. Daher sind diese ein Unterrichtsthema am Übergang von der Mittel- zur Oberstufe. Hierzu wurde ein Konzept zur Behandlung im inklusiven Unterricht der Klassenstufe 10 entworfen.

Es wurde eine Differenzierungsmatrix nach Sasse & Schulzeck entwickelt, die es Schüler*innen ermöglicht, beim Lernen ihren Schwierigkeitsgrad, aber auch die Art ihres Zugangs selbst zu wählen. Dabei haben sich die Schüler*innen abweichend vom Ursprungskonzept der Differenzierungsmatrix nicht individuell, sondern in Gruppen durch die Matrix bewegt und mussten sich so der Herausforderung stellen, einen gemeinsamen Weg durch die Matrix zu entwickeln. Um dies zu ermöglichen, wurde statt dem verbreiteten Schema „Motivation – Definition des Energiebegriffs – Anwendung“ zu folgen, der Energiebegriff an Hand von Umwandlungsprozessen eingekreist und soweit heraus geschärft, dass eine formale Definition am Ende der Einheit fast unnötig wurde. Es werden auch Beispiele aus der Energieversorgung betrachtet und auch das Problem der Energieentwertung behandelt.

Das Konzept wurde in der Gesamtschule Köln-Holweide in einer Unterrichtsreihe sowie einer Vergleichsklasse erprobt.

1. Das Vorhaben

Die Masterarbeit, auf der dieser Artikel beruht, reiht sich ein in eine Reihe von Projekten, die darauf zielen, zu explorieren, wie Inklusion in den Naturwissenschaften [1] praktisch gelingen kann. Dabei wird an die Erfahrungen von Schulen angeknüpft, die sich bereits seit Jahren auf den Weg gemacht haben, Inklusion in der Praxis zu leben. Ziel ist einerseits die Dokumentation des an diesen Schulen bereits erarbeiteten Standes und gleichzeitig die wissenschaftliche Aufarbeitung der sich aus dieser Praxis ergebenden offenen Fragen.

Die Gesamtschule Köln-Holweide arbeitet seit mehreren Jahren erfolgreich mit dem Konzept der Differenzierungsmatrix nach Sasse & Schulzeck [2]. Allerdings waren bei diesem Konzept drei Fragen zu nächst ungeklärt:

- Wie steht die freie Wahl, in welcher Reihenfolge die Schüler*innen Aufgaben bearbeiten, im Verhältnis zu den üblichen didaktischen Reduktionen der Physik¹, die auf einen Unterricht abgestimmt sind, in dem der Kompetenzerwerb systematisch aufeinander aufbaut?
- Inklusion ist mehr als das Nebeneinanderarbeiten der Schüler*innen. Wie steht die Individualisierung des Lernweges der Schüler*innen im Ver-

hältnis zum Anspruch der Inklusion, dass nicht nur alle Schüler*innen sich bestmöglich entwickeln sollen, sondern auch etwas miteinander anfangen können sollen? (Vergleiche [4]) Wie lässt sich die Arbeit mit der Matrix mit Zusammenarbeit verbinden?

- Wie lassen sich die Achsen der Differenzierungsmatrix in der Physik sinnvoll nutzen und welche Funktion haben sie für die Schüler*innen real?
- Wie gelingt eine Ergebnissicherung bei der Arbeit mit einer Differenzierungsmatrix?

Energie spielt in gesellschaftlichen Debatten eine zunehmende Rolle; gleichzeitig ist das Spezifikum dieser eher künstlich-abstrakten Größe der Physik, dass sie bei Umwandlungsprozessen erhalten bleibt. Beides birgt erhebliches didaktisches Potenzial. Überraschenderweise spielt das Konzept der Energie in der Schule dennoch keine angemessene Rolle und wird – wenn überhaupt – im Rahmen einzelner Teilgebiete der Physik thematisiert, aber gerade nicht gebietsübergreifend, sodass die Erhaltung bei Umwandlung tatsächlich zur Geltung kommen könnte.

In der vorgestellten Arbeit wird eine an der Gesamtschule Köln-Holweide entwickelte und erprobte Unterrichtsreihe vorgestellt, die Energie und ihre Umwandlung in den Mittelpunkt der Betrachtung stellt. Die Unterrichtsreihe verwendet die an dieser Schule eingesetzte Differenzierungsmatrix und untersucht auf der methodischen Seite, wie sich die

¹ Ein guter Überblick über „traditionelle“ und neuere Unterrichtskonzeptionen in fast allen Gebieten der Physik sowie empirische Ergebnisse zu diesen Konzeptionen finden sich in [3].

ersten beiden oben genannten Fragen adressieren lassen. Dabei greifen Inhalt und Methode insofern ineinander, als die Erhaltung bei Umwandlung gleichzeitig einen quantitativen und qualitativen Zugang ermöglicht statt der üblichen Abfolge „erst qualitativ, dann quantitativ“. [5] Die Arbeit dient der Exploration des Potenzials dieser Konzeption. Dabei wird deutlich, dass die Schüler*innen die Matrix nicht wie nahegelegt im Wesentlichen von unten links nach oben rechts durcharbeiten und dass dies zumindest im gewählten Setting auch weder notwendig noch unbedingt hilfreich ist.

2. Fachlicher Hintergrund

Alle Prozesse im Universum sind mit Energie-Umsatz, also mit Energie-Umwandlungen verbunden, insbesondere auch Prozesse zwischen Erde und Sonne. Ohne Energieumsatz ist kein Leben auf der Erde möglich.

Energie ist dabei nicht erzeugbar und nicht vernichtbar. Zusammen mit Impuls- und Drehimpulserhaltung folgt sie gemäß Noether Theorem aus den Eigenschaften des Raumes und ihre Gültigkeit ist damit nicht auf die Newtonsche oder die Schrödingersche Mechanik beschränkt. Sie gilt universell, in verallgemeinerter Form auch in der Allgemeinen Relativitätstheorie, über alle Bereiche der Physik hinweg und auf allen Skalen, und in unserem Universum ist das Betragsverhältnis von potenzieller und kinetischer Energie $1.0 (\pm 0.01)$. Diese Universalität ist auch der Grund, warum Fehler in der Bilanz von Erhaltungsgrößen in der Geschichte oft neue Entdeckungen, z.B. Äquivalenz von Masse und Energie, Spin, Neutrinos, mit ausgelöst haben.

Dies scheint zunächst im Widerspruch zu stehen zur oft gehörten und gelesenen Strategie, eine Aufgabe „durch Energieminimierung“ zu lösen. Letzteres funktioniert dennoch oft bei offenen Systemen, die im Energieaustausch mit der Umwelt stehen und wärmer als die Durchschnittstemperatur des Universums ($\sim 3K$) sind, weil sich die Energie gemäß Gleichverteilungssatz der Thermodynamik im thermodynamischen Gleichgewicht so verteilt, dass alle Teile des Gesamtsystems (offenes System + seine Umwelt) die gleiche Temperatur haben. Manchmal wird in Begründungen für dieses Vorgehen auch an das Prinzip stationärer Wirkung der Hamiltonschen Mechanik angeknüpft, das sich analog auch in der Quantenfeldtheorie und dem in der Schule oft behandelten Fermat-Prinzip der Optik existiert. Dies ist aber ein falscher Bezug: Erstens ist eine stationäre Wirkung oft keine minimale Wirkung, zweitens ist Wirkung eine ganz andere Größe als die Energie.

Weitere Verwirrung stiftet teilweise, dass zur Berechnung des thermodynamischen Gleichgewichtes thermodynamische Potenziale minimiert bzw. maximiert werden und für einige davon historische, nach heutigem Verständnis irreführende, wenn nicht falsche Namen wie „Freie Energie“ weiter gebräuchlich sind. Diese thermodynamischen Potenziale ha-

ben aber mit Energie nichts zu tun und sind auch nicht erhalten; vielmehr sind sie Maße für (bedingte) Wahrscheinlichkeiten. Ihre Maximierung / Minimierung ist darin begründet, dass sich das thermodynamische Gleichgewicht genau dadurch auszeichnet, dass die Wahrscheinlichkeit, ein System in diesem Zustand anzutreffen, im thermodynamischen Limes extrem viel höher ist als für alle anderen Zustände.

Aus den Gesetzen der Thermodynamik folgt, dass für die meisten realen Systeme Energie (und andere Erhaltungsgrößen) zwar für alle Umwandlungsprozesse erhalten, dass aber nicht alle Umwandlungsprozesse machbar sind. So ist es beispielsweise nicht möglich, Wärmekraft-Maschinen mit einem höheren als dem Carnot-Wirkungsgrad (Turbine im Kohlekraftwerk, KFZ-Motor) zu bauen. Das heißt aber, nicht, dass Energie verloren ginge, sondern dass die Umwandlung von mechanischer Energie in thermische Energie eine Entwertung (= Verringerung der technischen Nutzbarkeit) der Energie ist, weil die umgekehrte Umwandlung in einer Wärmekraftmaschine nur eingeschränkt möglich ist.

3. Didaktische Konzeption

Der Energiebegriff ist der Schlüssel zum Verständnis gesellschaftlicher Debatten und sollte somit vor dem Ende der allgemeinbildenden Schulpflicht thematisiert werden, also in der 10. Klasse.

Ein Grund, warum Energie oft erst viel später systematisch eingeführt wird, besteht darin, dass die Energieerhaltung oft als Konsequenz der Newtonschen Gleichungen hergeleitet und dann vor allem als „eleganter Rechenrick“, um keine komplizierte Differenzialgleichung lösen zu müssen“ verstanden wird. Dieser Weg hat nicht nur das Problem, dass die Universalität der Energieerhaltung nicht zur Geltung kommt (weder in Bezug darauf, dass die Energieerhaltung in der Mechanik viel allgemeiner ist als die Newtonschen Gleichungen, noch in Bezug darauf, dass sie in allen Bereichen der Physik gilt und diese miteinander verbindet). Vor allem ist dieser Zugang erst möglich, nachdem Differenzial- und Integralrechnung (und besser noch Differenzialgleichungen) soweit fortgeschritten sind, dass die Schüler*innen überhaupt mit den Newtonschen Gleichungen umgehen können, also typischerweise nicht vor der Mitte der Oberstufe. Fraglos folgt dieser Zugang der historischen Entwicklung der Physik [6] und ist damit – folgt man [5] oder nimmt nature-of-science-Ansätze in den Blick – wertvoll. Ihn von modernem Standpunkt her vom Kopf auf die Füße zu stellen, also mit Erhaltung als wesentlich fundamentalerem Prinzip der Physik zu beginnen (und später eventuell Newton zu behandeln), bietet dennoch didaktisch erhebliche Vorteile:

- Relevante und spannende Themen können früher behandelt werden.
- Der klassische Zugang funktioniert – im Wagenscheinschen Sinne – falsch herum: Man benutzt die quantitative Arbeit mit den Newtonschen

Gleichungen, um zu einem qualitativen Ergebnis (die Gesamtenergie ändert sich nicht) zu kommen. Steigt man mit Erhaltungsgrößen ein, ist es umgekehrt, also im Wagenscheinschen Sinne richtig herum: „erst qualitativ, dann quantitativ“.

- Energie ist in der Gesellschaft viel präsenter als fast alle anderen physikalischen Konzepte, etwa die Newtonschen Gleichungen; somit knüpft der moderne Ansatz viel eher an den Alltag der Schüler*innen an als der historische.

Insbesondere in neueren Curricula wird schon früher mit dem Energiebegriff gearbeitet. Er nimmt hierbei dennoch eher die klassische Rolle ein²: So wird typischerweise zum Abschluss einer Unterrichtsreihe zur Mechanik oder Elektrizitätslehre die Energie mit Hilfe einer formalen Definition (etwa $W=P \cdot t=U \cdot I \cdot t$ in der Elektrizitätslehre) eingeführt, um an den Schüler*innen-Alltag anzuknüpfen, etwa die Stromrechnung. Dabei ist die Energieerhaltung wiederum ein (dann normalerweise nicht hergeleitetes oder begründetes) Resultat der physikalischen Gesetze des entsprechenden Bereiches (und nicht Rahmen, in dem diese entwickelt werden) und die Behandlung bleibt oft innerhalb des entsprechenden Bereiches der Physik. (Manchmal wird am Beispiel der Stromnetze ein Bezug angedeutet.)

In der hier vorgestellten Arbeit wird nicht der historische, sondern der moderne Ansatz gewählt, der aus Sicht der Autoren den Einsatz einer didaktischen Methode wie der Differenzierungsmatrix (die weiter unten ausführlich behandelt wird), die die feste Reihenfolge der Erarbeitung des Unterrichtsstoffes aufbricht und damit verbesserte Voraussetzungen für Inklusion schafft, auch erst tatsächlich ermöglicht.

Auf dieser Grundlage wurde eine didaktische Reduktion erarbeitet, die keine bestimmte Reihenfolge der Erarbeitung erfordert. Die Idee dabei ist, den Schüler*innen zu ermöglichen, sich das Feld Energie mit Hilfe einer Differenzierungsmatrix selbstbestimmt und ihren Voraussetzungen entsprechend bearbeiten können, ohne das Ziel eines gemeinsamen Unterrichts aufzugeben.

3.1. Reduktion und Zugang

Der entwickelte Zugang zum Thema zeichnet sich durch die Spezifika aus:

² Exemplarisch für die aktuellen Entwicklungen sei hier auf den NRW-Kernlehrplan für die Gesamtschule, Sekundarstufe I von 2013 [7] verwiesen: Dort wird in zahlreichen „Inhaltsfeldern“ an das „Basiskonzept Energie“ angeknüpft, Energie kommt also durchaus häufig und als verbindendes Element verschiedener „Inhaltsfelder“ vor. Gleichzeitig gibt es ein eigenes Inhaltsfeld „Energie, Leistung, Wirkungsgrad“ (S. 108), das aber anders als der Titel vermuten lässt, nicht als Querschnittsfeld aufgebaut ist, sondern von der klassischen Energiebegriffsdefinition aus der Mechanik geprägt ist; letztlich bilden die Inhaltsfelder „Kräfte und Körper“, „Bewegungen und ihre Ursachen“ sowie „Energie, Leistung, Wirkungsgrad“ zusammengenommen eine recht klassische Einführung in die Mechanik.

- a) Eine Definition des Energiebegriffs spielt keine wichtige Rolle, sondern kommt nur als Ausblick am Ende vor; stattdessen wird sich dem Energiebegriff durch seine Verwendung in verschiedenen Kontexten angenähert.
- b) Energieerhaltung und Energieentwertung werden weitgehend parallel entwickelt.
- c) Gleichzeitigkeit von qualitativem und quantitativem Arbeiten soll ermöglicht werden

3.1.1. Einführung des Energiebegriffs

Die Möglichkeiten der Begriffseinführung sind vielfältig. Da ist zunächst, Energie als gespeicherte Arbeit aufzufassen (tatsächlich legt das – ursprünglich griechische – Wort „έν-έργεια“, übersetzt als „darin enthaltene Arbeit“ diese Deutung nahe). Diese Einführung ist zunächst auf mechanische Arbeit zugeschnitten, sie lässt sich teils leicht, teils aber auch schwieriger auf andere Energieformen übertragen. Typischerweise wird dabei mit verschiedenen Beispielen auf eine Definition des Energiebegriffes hingearbeitet, die dann an der mechanischen Arbeit festgemacht wird, um anschließend diese Definition und die darauf basierenden Sätze in Beispielen anzuwenden.

Diese Vorgehensweise hat zwei Schwierigkeiten: (1) Die Definition stellt in gewisser Weise ein Nadelöhr dar; Schüler*innen, die nicht (pünktlich zusammen mit den anderen) bei dieser Definition ankommen, können dem Rest des Unterrichts kaum noch folgen; Wiedereinstiegspunkte gibt es nur durch Wiederholungen, die dann umgekehrt die anderen langweilen oder dadurch, dass die formale Definition blind angewendet wird. (2) Anstatt die Äquivalenz der verschiedenen Energieformen in den Mittelpunkt zu stellen, wird aus historischen Gründen in der Definition die Mechanik herausgehoben, sodass der Blick für die entscheidende Spezifik der Energie verstellt wird. (Vergleiche Abschnitt 2)

Angesichts dessen wird hier mit einer anderen Konzeption gearbeitet: Motivation des Energiebegriffs und dessen Anwendung werden in den Aufgaben der Matrix bewusst nicht getrennt, wenn auch verschiedene Aufgaben unterschiedliche Schwerpunkte setzen. Vielmehr wird der Energiebegriff aus der Anwendung seiner Erhaltungseigenschaft heraus geschärft, wie es etwa [8] in den „Grundformen des Lernens“ ab Seite 201 beschreibt:

„Diese Transparenz erwirbt ein Begriff im Zuge seines Durcharbeitens. (...) Im Zuge eines solchen Durcharbeitens reinigen wir auch den Begriff von den Schlacken, die ihm von der ersten Erarbeitung her anhaften. Die wesentlichen Zusammenhänge treten in Klarheit hervor. Der Begriff wird zu einer geistigen Landkarte (...) in der sich der Schüler frei und selbständig zu bewegen vermag.“

Die mechanische Energie ist dabei nicht definierend, sondern vielmehr ein prominentes unter vielen Beispielen für die Energieumwandlung, die insgesamt

eine definierende Funktion für den Energiebegriff hat.³ Die Definition der Energie steht dabei nicht in der Mitte sondern am Ende der Unterrichtsreihe. Sie ist nicht Voraussetzung für die Anwendung, sondern kondensierte Erfahrung aus der Anwendung, die je nach Schüler*in unterschiedlich scharf ist. Sie wird beim Bearbeiten der verschiedenen Aufgaben aus verschiedenen Perspektiven herausgearbeitet, wie ein Steinmetz Stück für Stück eine Figur aus einem Steinblock herausarbeitet. Während die einen Schüler*innen im Laufe des Unterrichts jede Perspektive einmal einnehmen und am Ende eine von allen Seiten fein ausgearbeitete Statue haben, sind bei anderen Schüler*innen manche Seiten vielleicht noch grob oder ganz unbearbeitet, andere dafür eventuell umso präziser. Aber es gibt kaum die Möglichkeit, prinzipiell „rauszukommen“ und jedenfalls immer die Möglichkeit, sich von einer neuen Perspektive aus mit anderen, die gerade auf derselben Seite der Statue stehen, neu anzunähern.

Dieser Prozess des Herausarbeitens des Energiebegriffs durch das „Durcharbeiten“ (Aebli) von Energie-Umwandlungsprozessen ist dabei als der „Gemeinsame Gegenstand“ im Sinne [9] gedacht. Er ist angelegt an die eher geisteswissenschaftlich konnotierte Methode Hermeneutik⁴ und faktisch näher an naturwissenschaftlicher Forschung als die rein induktiv und deduktive Herangehensweise vieler (Universitäts-)Lehrbücher.

3.1.2. Technik, Gesellschaft und der Wert der Energie

Energieumwandlungen dienen auch dazu, Energieformen für den Alltag nutzbar zu machen wie z.B. das Verzehren von Nahrung zum Leben oder das Heizen der Wohnung z.B. mittels Maschinen. Beispiele in der entwickelten Matrix sind u.a. der Elektromotor, Kernkraftwerke und Photovoltaik. Auf Grund ihrer hohen gesellschaftlichen Relevanz kommen solche technischen Anwendungen in relativ vielen Aufgaben vor und umfassen immer Teilaufgaben zur expliziten Einordnung in gesellschaftliche Debatten. So kann die Kompetenz der Bewertung durch die Schüler*innen gezielt geschult werden.

³ Matrixaufgaben, in denen Energie als gespeicherte Arbeit vorkommt, sind die Matrix-Elemente M1, M2, M4 und auch M3 und T1.

⁴ Hermeneutik, vornehmlich die „Kunstlehre des Verstehens“ biblischer und juristischer Texte, wurde ab etwa 1800 vor allem initiiert durch Friedrich Schleiermacher auch in anderen Kontexten angewandt und zu Beginn des 20. Jh. zur allgemeinen, theoretisch fundierten Methode der Geisteswissenschaften in Abgrenzung zum Naturalismus der Naturwissenschaften durch Wilhelm Dilthey weiterentwickelt. Hans-Georg Gadamer legte mit „Wahrheit und Methode“ 1960 [10] die Grundlage eines erweiterten Verständnisses, das bis heute Referenz der Debatte ist. Als kurze Einführung sei auf den Wikipedia-Artikel zu diesem Werk [11] verwiesen.

Bei der Umwandlung gilt zwar universell die Erhaltung, aber nicht alle Umwandlungen erzielen zu 100% den gewünschten Nutzen, ein Teil der umgewandelten Energie geht z.B. als Abwärme in den Raum und ist nicht weiter nutzbar (siehe Abschnitt 2, letzter Absatz).

In vielen Darstellungen wird dieses Phänomen am Wirkungsgrad η von Maschinen diskutiert. Abgesehen davon, dass dies eine recht technische und rein quantitative Definition ist, ist das Verhältnis der typischen Definition $\eta = \frac{\Delta E_{\text{nutz}}}{\Delta E_{\text{zu}}}$ und des Sprachgebrauchs, dass Energie „verloren“ gehe, zur Energieerhaltung unklar. Um den in Abschnitt 2 aufgeführten Missverständnissen vorzubeugen, wird einerseits „Entwertung“ von Energie als Begriff verwendet, sodass unmittelbar klar ist, dass diese Energie immer noch existiert.⁵ Zudem ist dieser Begriff auch im ökonomischen Sinne treffend. Andererseits wird immer die vollständige Energiebilanz prominent diskutiert. Zentrale Darstellungsform, die sowohl den Erhalt der Gesamtenergie als auch deren Entwertung gleichzeitig berücksichtigt, sind Energieflussdiagramme (siehe Abb. 1). Sie haben zudem den Vorteil, dass sie zugleich einen qualitativen und einen quantitativen Zugang ermöglichen, siehe Abschnitt 3.1.3.⁶

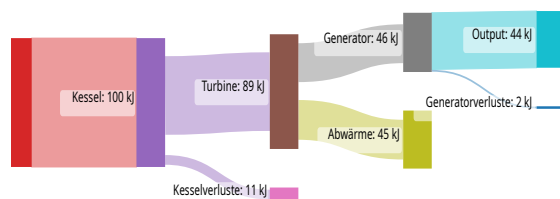


Abb.1: Energieflussdiagramm eines Kohlekraftwerkes, erstellt mit Hilfe von [12]

3.1.3. Qualitativ und Quantitativ

Folgt man Wagenscheins Forderung „erst qualitativ, dann quantitativ“ und versucht einen binnendifferenzierten Unterricht zu gestalten, bricht das gemeinsame Lernen spätestens am Übergang vom Qualitativen zum Quantitativen auseinander (vgl. z.B. [13]). Dies ist ein typischer Fall des Problems, das z.B. Trautmann & Wischer [14] und schon früher Bönsch [15] für ein Scheitern von Binnendifferenzierung mitverantwortlich machen:

„Bei konsequenter Differenzierung im Unterricht wäre in einer Klasse nur noch der Ausgangspunkt allen gemeinsam. (...) [Es] zieht sich das Feld der Schüler mehr und mehr auseinander. Die Konsequenz wäre eine permanente Differenzierung.“ [15]

⁵ Beispiele für Matrixaufgaben, in denen es um die Energieumwandlung und anschließende Nutzung geht, sind E1, E3, M4, S1 und S2.

⁶ Dennoch wird der Bezug zum Begriff „Wirkungsgrad“ hergestellt und auch die Redewendung, dass Energie (für die Nutzung) verloren geht aufgegriffen, um eine Anknüpfung an den üblichen Diskurs zu erleichtern.

Wagenschein verfolgt tatsächlich auch keine Binnendifferenzierung, sondern setzt darauf, mit Hilfe seiner Regel „erst die Langsamern, dann die Schnellen“ ein gemeinsames Durchlaufen der verschiedenen Unterrichtsphasen sicherzustellen.

Inwiefern das gelingt, mag vom Einzelfall abhängig sein. Sicher ist jedoch, dass eine didaktische Reduktion, die weniger auf ein Nacheinander bestimmter Verständnisschritte angewiesen ist, weniger anfällig für solche Probleme ist. Zudem entspricht es der Forderung nach Schüler*innenorientierung, wenn Schüler*innen selbst ihren Ausgangspunkt und ihren Zugang wählen können und dennoch miteinander lernen.

Wie die zentrale Darstellungsform des Energiefluss-Diagramms (siehe Abb. 1) unmittelbar veranschaulicht, ermöglicht die Arbeit mit Erhaltungsgrößen eine Gleichzeitigkeit von qualitativem und quantitativem Arbeiten. Sie ermöglicht, besonders weil sich Energie als Skalar (im Gegensatz zum Impuls) leicht als solch ein Diagramm visualisieren lässt, dass Schüler*innen auch dann miteinander ins Gespräch kommen, wenn die einen qualitativ argumentieren und die anderen quantitativ.

Unabhängig davon sind einige Aufgaben explizit rechenlastig und als solche in der Matrix mit einem Icon gekennzeichnet (siehe unten).

3.2. Methodik Differenzierungsmatrix

Die Differenzierungsmatrix wurde allgemein als Methode von Sasse & Schulzeck [2] entwickelt. Die Differenzierung im Unterricht geschieht hier nicht durch die Lehrperson, sondern durch die Schüler*innen selbst anhand einer Aufgabenmatrix.

Die 2-dimensionale Lernmatrix enthält auf der horizontalen Achse eine gestufte Sachthematik und auf der vertikalen Achse didaktische Komplexität bzw. gestufte Methodik.

Auch um eine Vergleichbarkeit mit herkömmlichem Unterricht zu ermöglichen (siehe Evaluation unten) wurden für die Differenzierungsmatrix zur Energie weitgehend bestehende Aufgaben ausgewählt und entsprechend der Überlegungen in Abschnitt 3.2 abgewandelt, eine Matrix zum Thema Energie gab es aber zuvor nicht (überhaupt gibt es bislang kaum Differenzierungsmatrizen zur Physik, vgl. [16]).



Abb.2: Icons zur Charakterisierung von Aufgaben in der Matrix, von oben links nach unten rechts: ‚Bilder und Texte‘, ‚Experiment‘, ‚Video oder Simulation‘, ‚rechenlastig‘

Wie am Anfang von Kapitel 3 beschrieben, wird Energie meist nicht als globales Thema behandelt, sondern in verschiedenen Unterrichtsblöcken zu Mechanik, Elektrizität usw. Dementsprechend haben die meisten Aufgaben auch einen Bereich der Physik, dem sie hauptsächlich zugeordnet sind, auch wenn sie – ausgehend von diesem Bereich – eine Energieumwandlung in einen anderen Bereich zugeordnete Thematik behandeln. Dementsprechend wurden die Spalten den unterschiedlichen Bereichen „Mechanische Energie“, „Elektrische Energie“, „Thermische Energie“, „Strahlungsenergie“ und „Chemische Energie“ zugeordnet (siehe Abb. 3). Dabei wurde die Reihenfolge danach vorgenommen, wie sehr in den entsprechenden Bereichen der Physik der Energiebegriff mutmaßlich im Vorwissen der Schüler*innen verankert ist. Die Idee dabei ist: Die Aufgaben links in der Matrix können Schüler*innen auf Grund von Alltagswissen über bestimmte Phänomene potenziell auch dann bearbeiten, wenn ihr Energiebegriff noch sehr vage ist. Nachdem er dann an einigen Aufgaben geschärft und ein wenig abstrakter geworden ist („von den Schlacken“ gereinigt, Aebli), lässt er sich auch in Bereichen der Physik anwenden, aus denen die Schüler*innen ihn noch nicht kennen.

Ausgehend von der Kritik von Woest & Engelmann [17], dass verschiedene Zugänge nicht gleichzusetzen sind mit verschiedenen Schwierigkeitsgraden, wurden die Aufgaben auf der vertikalen Achse nach allgemeiner Komplexität unter Aspekten von kognitiven, psychomotorischen und affektiven Herausforderungen in einer Rangfolge sortiert und die verschiedenen Zugänge unabhängig davon mit Icons in den Feldern gekennzeichnet (siehe Abb. 2).

Auf Grund von Lehrplan-Notwendigkeiten wurden einige Aufgaben, die viele Ziele der Unterrichtseinheit vereinen, als verpflichtend gekennzeichnet. Dies geschah aber erst zum Ende der Unterrichtsreihe hin (als aber noch genug Zeit war, diese Aufgaben zu bearbeiten), um die Aufgaben nicht in verschiedene Wertigkeiten einzuteilen, sodass die Schüler*innen (zunächst) tatsächlich eigenständig über ihren Weg durch die Matrix entscheiden konnten.

Abb. 3 zeigt die entwickelte Matrix jeweils für die Schüler*innen. Letztere bewegen sich durch die Matrix in dieser Untersuchung nicht einzeln, sondern in vorgegebenen heterogenen Kleingruppen zu je 4 Schüler*innen, selbstständig, wobei sie über die ganze Unterrichtseinheit zusammen blieben. Entscheidend war, dass die Schüler*innen dadurch herausgefordert waren, ihre Interessen, Vorkenntnisse und Fähigkeiten zu reflektieren und zu artikulieren, sich aufeinander einzulassen und auf einen gemeinsamen Weg zu einigen. Einerseits bedeutet dies soziales Lernen, andererseits dient es aber auch der Selbstreflexion und Lernkontrolle und Ergebnissicherung, denn der tatsächliche Zwischenstand wird vor allem für die Sprechenden dadurch deutlich,

dass sie ihn artikulieren und an den Vorstellungen anderer reiben.

4. Die Unterrichtsreihe mit der Differenzierungsmatrix

Wie unten im Abschnitt 5 zur Evaluation näher erläutert, wurde zusätzlich zur hier beschriebenen Unterrichtsreihe mit Differenzierungsmatrix (D-Klasse) noch eine lehrerzentrierte Unterrichtsreihe in einer Parallelklasse (L-Klasse) zum Vergleich durchgeführt. Beide fanden im 10. Jahrgang an der Gesamtschule Holweide statt, hatten regulär den selben Physiklehrer und umfassten sieben Unterrichtseinheiten zu je 1,5 Zeitstunden. Im Folgenden wird die Unterrichtsreihe in der D-Klasse beschrieben.

Der Aufbau der sieben Unterrichtseinheiten war stets analog:

Der Unterricht startete mit einer kurzen Plenumsphase. Neben ritualisiertem Ankommen und einer Erläuterung der Arbeitsweise mit der Matrix umfasste das Anfangsplenum vor allem einen kurzen thematischen Teil, bei dem Energieflussdiagramme als zentrale Darstellungsform (siehe Abschnitte 3.1.2 und 3.1.3) eingeführt sowie Energieumwandlung, Energieerhaltung, Energieentwertung, Wirkungsgrad sowie Kraftwerksformen und Energieträger angeteasert wurden, um die gemeinsame Entscheidungsfindung in die Gruppenarbeitsphase zu erleichtern. Es wurde vom Lehrer auch erläutert, dass bei weitem nicht alle Felder der Matrix bearbeitet werden sollten, sondern lediglich eine Auswahl. Es wurde vom Lehrer auch erläutert, dass bei weitem nicht alle Felder der Matrix bearbeitet werden sollten, sondern lediglich eine Auswahl.

Den Kern der Unterrichtseinheiten bildeten die Gruppenarbeitsphase, in der heterogen durch den

Lehrer zusammengestellte 4er-Gruppen, die für die gesamte Unterrichtseinheit zusammen blieben, eigenständig Aufgaben aus der Differenzierungsmatrix auswählten und bearbeiteten. Zu jedem Matrixfeld waren Aufgabenblätter entwickelt worden (siehe Anhang), die eine konkrete Bearbeitung der Felder ermöglichten. Zu jedem Matrixfeld waren Aufgabenblätter entwickelt worden (siehe Anhang), die eine konkrete Bearbeitung der Felder ermöglichten. Die Gruppenarbeitsphase wurde jeweils mit Hinweisen des Lehrers begonnen, wo die jeweilige Gruppe beim letzten Mal aufgehört und insbesondere welche Aufgaben sie nicht zu Ende bearbeitet hatte. Hatte eine Gruppe eine Aufgabe bearbeitet, hat sie die Ergebnisse mit Hilfe von Musterlösungen selbst korrigiert. Gleichzeitig ist der Lehrer, als Element formativen Assessments [18] von Gruppe zu Gruppe gegangen, hat zugehört, beobachtet und sich auch immer wieder die Mappen angesehen, in denen die Aufgaben bearbeitet wurden, um so möglichst auf sich entwickelnde Fehlvorstellungen und von den Schüler*innen nicht selbständig aufgehobene problematische Präkonzepte aufmerksam zu werden, die dann zum Beispiel in der Anfangsphase der darauf folgenden Unterrichtseinheit angesprochen werden konnten.

Den Abschluss einer Unterrichtseinheit gab es einen kurzen Zeitslot, in dem die Schüler*innen individuell rekapitulieren sollten, was sie in der jeweiligen Einheit gemacht und gelernt hatten. Im Anschluss berichteten ausgeloste Schüler*innen kurz und exemplarisch über einen beliebigen Teil davon. So hatten die verschiedenen Gruppen einerseits die Möglichkeit, voneinander mitzubekommen und der Lehrer auch nochmal mehr einen Eindruck davon, welche Konzepte vielleicht noch auf einem problemati-


| | | | | | |
|---|---|--|---|--|---|
| 5 | (M5) Wasserkraftwerk: 200m "Wasserfall" - eine Menge Energie!  | (E5) Energiewende schwergemacht. Der Kampf um was "wie"!  | (T5) Was ist das denn eigentlich: „Thermische Energie“?   | (S5) Das Kraftwerk, das nur die Sonne braucht.  | (C5) Energie in Mengen - Wo steckt wie viel drin?  |
| 4 | (M4) Kohlekraftwerk - Wie effizient ist das eigentlich?  | (E4) Die Spannung steigt - Der Transformator  | (T4) Geothermie - Können wir einfach den Erdkern anzapfen?  | (S4) Die Kernenergie! Eine gute Idee?  | (C4) Brennstoffzelle - Mobilität der Zukunft  |
| 3 | (M3) Der Generator - Bewegung wird zu Strom  | (E3) Der geräuschlose Motor  | (T3) Energie ohne Ende! - Könnten alle so leben wie wir?  | (S3) Regenbögen sind erst der Anfang!  | (C3) Irgendwas verbrennen - 'Zack!' Energie  |
| 2 | (M2) Energie Zuordnungssquiz - Überall Energie!  | (E2) Wo wären wir ohne elektrische Energie?  | (T2) Warum sind warme Dinge warm?  | (S2) Die Kraft der Sonne - Photovoltaik  | (C2) Das Speicherproblem!  |
| 1 | (M1) Hat das da gerade Energie?   | (E1) Lasst den Strom fließen!  | (T1) Wärmste Hände Wettbewerb  | (S1) Die Kraft der Sonne - Solarwärme  | (C1) Die Kartoffelbatterie - Energie aus Gemüse   |
| | Mechanische Energie | Elektrische Energie | Thermische Energie | Strahlungsenergie | Chemische Energie |

Abb.3: Differenzierungsmatrix zum Thema Energie (verpflichtend zu bearbeiten waren die Aufgaben T2, C3, M4). Eine Auswahl an Aufgaben findet sich im ergänzenden Material zu diesem Artikel.

schen Erarbeitungsstand waren und im nächsten Anfangsplenum noch einmal aufgegriffen werden sollten. Andererseits wurde so sichergestellt, dass sie Schüler*innen für sich selbst eine Zwischenbilanz zogen und auch üben Erlernes nachvollziehbar zu berichten. Dadurch, dass die Gruppen unterschiedliche Aufgaben bearbeitet hatten, die aber alle dem Zweck, den Energiebegriff auszuschärfen hatten, war sichergestellt, dass das Berichtete tatsächlich für die anderen neu und in der nächsten Einheit nützlich war. Dies führte nicht nur zu Aufmerksamkeit, sondern auch dazu, dass die Situation nicht so sehr den Charakter einer Prüfung hatte, sondern eines Beitrages zum gemeinsamen Weiterkommen.

5. Evaluation der Unterrichtsreihe

Verlauf und Erfolg der Unterrichtsreihe wurden in fünffacher Hinsicht evaluiert:

- Tatsächlicher Verlauf
- Soziale Anschlussfähigkeit
 - a. in Bezug auf die Aufgabenwahl
 - b. in Bezug auf die Gruppenarbeit
- Individuelle Anschlussfähigkeit
 - a. in Bezug auf die Aufgabenwahl
 - b. in Bezug auf die Gruppenarbeit
- Unterrichtsqualität und -kultur angelehnt an Kriterien guten Unterrichts nach Baumert [19] bzw. Helmke [20].
- Lernzuwächse

Die D-Klasse bestand aus 24 Schüler*innen, von denen vier einen ausgewiesenen Förderbedarf (dreimal Emotionale und soziale Entwicklung, einmal Lernen) hatten, und wurde von einem Schulbegleiter unterstützt. Die L-Klasse bestand aus 30 Schüler*innen, davon keins mit Förderbedarf.

Unabhängig von den Schüler*innen mit Förderbedarf waren beide Klassen sehr heterogen, sowohl sozioökonomisch als auch bezogen auf die Leistungen. In beiden Klassen war das Arbeitsverhalten überwiegend laut regulärem Lehrer zufriedenstellend und das gesamte Leistungsspektrum von gutem Gymnasialniveau bis Hauptschulniveau nicht nur durch einzelne Schüler*innen vertreten, wobei die L-Klasse recht eindeutig ein wenig leistungsstärker war als die D-Klasse.

Beim tatsächlichen Verlauf wurde schlicht festgehalten, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Gruppen verschiedene Aufgaben bearbeitet haben (Abbildung 4). Nach Durchführung der Unterrichtsreihe mit der Differenzierungsmatrix wurden Fragebögen zur doppelten Anschlussfähigkeit [2] in Bezug auf Aufgabenwahl und Gruppenarbeit ausgefüllt, die auch Freitext-Kommentare erlaubten. Die Fragen und die nicht-Freitext-Ergebnisse finden sich in den Abbildungen 5 und 6.

Um die Unterrichtsqualität und -kultur sowie den Lernzuwachs einordnen zu können, wurde zusätzlich zum hier vorgestellten Unterricht mit Differenzierungsmatrix (D-Klasse) in einem Parallelkurs eine

Gruppe 1

| | | | | | |
|----------|-------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
| <u>5</u> | | | | | |
| <u>4</u> | 5. | | | | |
| <u>3</u> | | | | | |
| <u>2</u> | 3. | | 6. | | 1. |
| <u>1</u> | 4. | | 2. | | |
| | Mech | Elektr | Therm | Strahl | Chem |

Gruppe 2

| | | | | | |
|----------|-------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
| <u>5</u> | 3. | | | | |
| <u>4</u> | | | | | |
| <u>3</u> | 7. | | | | 5. |
| <u>2</u> | 1. | 2. | 6. | | |
| <u>1</u> | | | 4. | | |
| | Mech | Elektr | Therm | Strahl | Chem |

Gruppe 3

| | | | | | |
|----------|-------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
| <u>5</u> | | | | | |
| <u>4</u> | 5. | | | | 1. |
| <u>3</u> | | 4. | | | 6. |
| <u>2</u> | 3. | | 7. | | |
| <u>1</u> | | 2. | | | |
| | Mech | Elektr | Therm | Strahl | Chem |

Gruppe 4

| | | | | | |
|----------|-------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
| <u>5</u> | | | | | |
| <u>4</u> | | | | | |
| <u>3</u> | | | | | 6. |
| <u>2</u> | 1. | 5. | 4. | 3. | |
| <u>1</u> | | | 2. | | |
| | Mech | Elektr | Therm | Strahl | Chem |

Gruppe 5

| | | | | | |
|----------|-------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
| <u>5</u> | | | | | |
| <u>4</u> | 6. | | | | |
| <u>3</u> | | | | | 7. |
| <u>2</u> | | | 5. | | |
| <u>1</u> | 4. | 1. | 2. | | 3. |
| | Mech | Elektr | Therm | Strahl | Chem |

Gruppe 6

| | | | | | |
|----------|-------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
| <u>5</u> | | | | | |
| <u>4</u> | 5. | | | | |
| <u>3</u> | | 2. | | | |
| <u>2</u> | | 4. | 6. | | |
| <u>1</u> | | | 1. | | 3. |
| | Mech | Elektr | Therm | Strahl | Chem |

Abb.4: Wege der verschiedenen Schüler*innen-Gruppen durch die Differenzierungsmatrix

Lehrer*innen-zentrierte Unterrichtsreihe (L-Klasse) vom regulären Fachlehrer beider Kurse durchgeführt, bei der mit ähnlicher didaktischer Reduktion und ähnlichen Versuchen gearbeitet wurde. Unter-

richtsqualität und -kultur wurden für beide Kurse mit Hilfe eines Fragebogens, der inspiriert ist durch die Überlegungen Helmkes [20] vergleichend erfasst, siehe Abbildung 7.

| Soziale Anschlussfähigkeit | | Gr.1 | Gr.2 | Gr. 3 | Gr.4 | Gr.5 | Gr.6 | Ges. |
|-----------------------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| A2 | Habt ihr in erster Linie Aufgaben bearbeitet, die auch du bearbeiten wolltest? | 5,0 0,0 | 4,0 1,0 | 2,5 0,5 | 3,5 0,5 | 3,7 0,5 | 5,0 0,5 | 4,0 1,0 |
| A3 | Gab es Meinungsunterschiede bei der Aufgabenwahl? | 1,0 0,0 | 2,0 1,0 | 2,5 0,5 | 4,0 0,5 | 1,7 0,5 | 3,0 0,5 | 2,5 1,4 |
| A4 | Konntest du deine Wünsche mit in die Entscheidung einbringen? | 5,0 0,0 | 4,0 1,0 | 3,0 1,0 | 4,3 1,0 | 3,7 1,0 | 4,3 1,0 | 4,1 1,0 |
| A5 | Bei uns hat immer die gleiche Person entschieden, welche Aufgabe gemacht wird. | 1,0 0,0 | 5,0 0,0 | 3,0 1,0 | 1,5 1,0 | 2,3 1,0 | 2,3 1,0 | 2,3 1,6 |
| A8 | Mir hat es nicht gefallen, dass wir die Aufgaben gemeinsam auswählen mussten. | 1,0 0,0 | 1,5 0,5 | 1,5 0,5 | 2,0 0,5 | 1,0 0,5 | 3,3 0,5 | 1,8 1,2 |
| G1 | Ich fand es angenehm die Aufgaben nicht allein bearbeiten zu müssen. | 3,7 0,9 | 3,0 0,0 | 3,5 0,5 | 4,5 0,5 | 4,7 0,5 | 2,3 0,5 | 3,7 1,3 |
| G4 | Ich habe mich zurückgezogen und die anderen haben die Aufgaben bearbeitet. | 1,0 0,0 | 1,0 0,0 | 1,0 0,0 | 1,8 0,0 | 1,7 0,0 | 1,0 0,0 | 1,3 0,7 |
| G5 | Ich musste fast alles allein machen. | 3,3 1,7 | 4,5 0,5 | 1,5 0,5 | 1,5 0,5 | 1,0 0,5 | 3,0 0,5 | 2,4 1,6 |
| G7 | Wir haben immer gemeinsam überlegt, was die richtige Lösung sein könnte. | 3,7 1,2 | 3,0 0,0 | 3,5 0,5 | 4,0 0,5 | 4,3 0,5 | 3,3 0,5 | 3,7 1,0 |
| G8 | Ich habe von den anderen Gruppenmitgliedern profitiert. | 3,7 1,2 | 2,0 0,0 | 4,0 1,0 | 3,8 1,0 | 4,7 1,0 | 3,7 1,0 | 3,7 1,1 |
| G9 | Aufgrund der festen Gruppen hat der Unterricht mehr Spaß gemacht. | 2,3 1,2 | 3,5 0,5 | 1,5 0,5 | 4,0 0,5 | 4,3 0,5 | 2,0 0,5 | 3,1 1,5 |

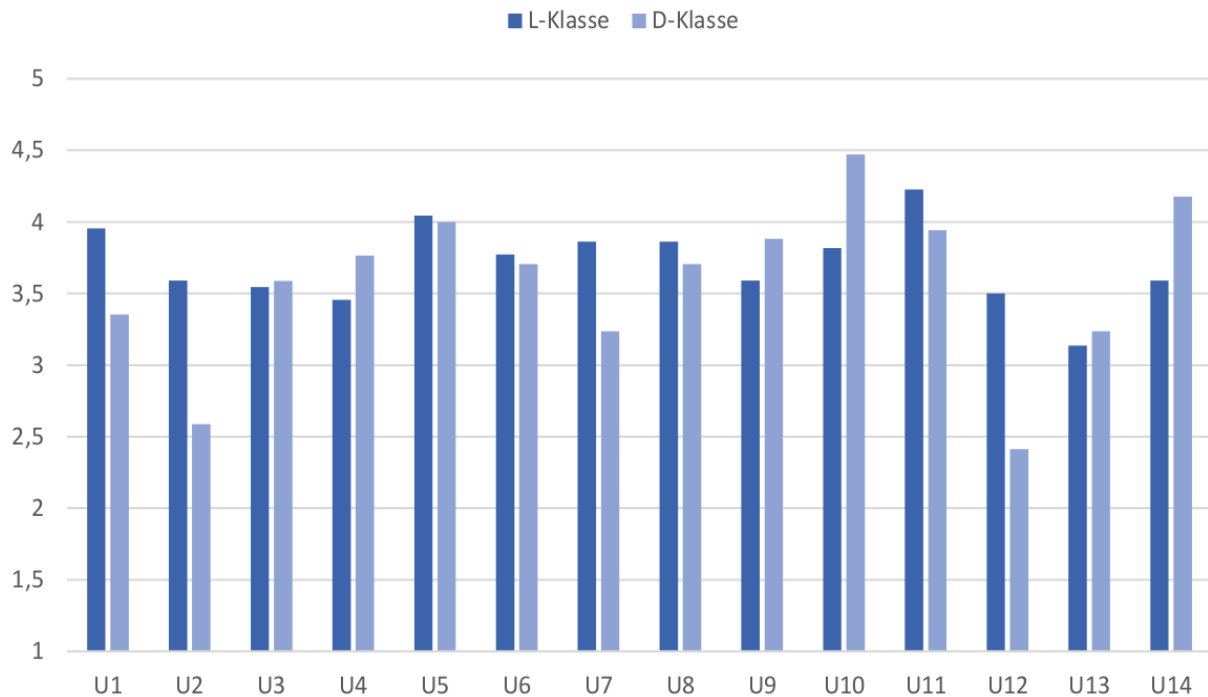
Abb.5: Evaluation der Sozialen Anschlussfähigkeit während der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix (Skala 1-5; Mittelwerte und Standardabweichung, nicht normiert)

| Individuelle Anschlussfähigkeit: | | | | | | | | |
|---|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| A1 | Die Aufgaben selbst auszuwählen, gab mir ein Gefühl von Selbstbestimmtheit. | 3,3 1,2 | 5,0 0,0 | 4,5 0,5 | 4,0 0,5 | 3,3 0,5 | 4,0 0,5 | 3,9 0,9 |
| A6 | Ich fand die Stationen, die wir gemacht haben, interessant. | 4,7 0,5 | 4,0 0,0 | 3,5 0,5 | 3,8 0,5 | 1,7 0,5 | 4,7 0,5 | 3,7 1,1 |
| A7 | Ich habe eher leichtere Aufgaben gewählt, um es mir einfach zu machen. | 3,0 0,8 | 2,0 0,0 | 1,5 0,5 | 2,5 0,5 | 2,3 0,5 | 3,0 0,5 | 2,5 1,1 |
| A9 | Ich war mit der Aufgabenwahl immer einverstanden und zufrieden. | 5,0 0,0 | 4,5 0,5 | 2,5 0,5 | 4,0 0,5 | 4,0 0,5 | 4,3 0,5 | 4,1 1,0 |
| G2 | Die Aufgaben, die wir gemacht haben, waren sehr leicht für mich. | 3,3 0,5 | 3,5 0,5 | 3,5 0,5 | 2,8 0,5 | 2,3 0,5 | 4,0 0,5 | 3,2 0,9 |
| G3 | Die Aufgaben, die wir gemacht haben, waren sehr schwer für mich. | 2,7 0,5 | 2,5 0,5 | 2,0 0,0 | 3,0 0,0 | 3,7 0,0 | 2,0 0,0 | 2,7 1,0 |
| G6 | Ich habe viel zu der Lösung der Aufgaben beitragen können. | 4,0 0,0 | 4,5 0,5 | 4,0 0,0 | 4,3 0,0 | 2,7 0,0 | 4,0 0,0 | 3,9 0,8 |

Abb.6: Evaluation der Individuellen Anschlussfähigkeit während der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix (Skala 1-5; Mittelwerte und Standardabweichung, nicht normiert)

Zur Bewertung der Lernzuwächse wurden für beide Kurse je ein Prä- und ein Posttest zum fachlichen Verständnis durchgeführt und mittels Boxplot (Abbildung 8) grafisch bzw. mittels Wilcoxon-Test

(Vergleich Prä- und Posttest für jeden Kurs; [21]) und Kruskal-Wallis-Test (Vergleich des Lernzuwachses zwischen den Kursen; [22]) interferenzstatistisch ausgewertet.



- U1 Wir haben im Unterricht viel gemeinsam gearbeitet und geschafft.
- U2 Ich habe von meinen Mitschüler*innen lernen können.
- U3 Ich konnte meine Mitschüler*innen unterstützen.
- U4 Mir war immer klar, warum ich die Aufgabe mache.
- U5 Ich konnte meinen Lernprozess eigenständig mitgestalten.
- U6 Ich fand den Unterricht interessant und erkenntnisreich.
- U7 Ich hatte im Unterricht genug Zeit, mich mit Sachen zu beschäftigen, die mich interessieren.
- U8 Ich bin davon ausgegangen, die gestellten Aufgaben lösen zu können.
- U9 Ich hatte im Unterricht genug Zeit, um Unverstandenes genauer anzusehen.
- U10 Ich hatte das Gefühl, Fragen nicht stellen zu können, weil ich andere damit nerven, den Betrieb aufhalte oder mich blamiere.
- U11 Ich konnte Fragen immer klären, sodass für mich am Ende alles schlüssig war.
- U12 Es gab Phasen, in denen ich mich gelangweilt habe.
- U13 Ich war immer konzentriert mit dem Thema des Unterrichtes beschäftigt.
- U14 Ich wusste immer, was ich machen sollte bzw. als Nächstes machen konnte.

Abb.7: Unterrichtsqualität und -kultur im Vergleich zwischen dem Kurs, der mit der Differenzierungsmatrix gearbeitet hat (D) und dem Kurs, der lehrerzentriert gearbeitet hat (L). (Skala 1-5; Mittelwerte, normiert)

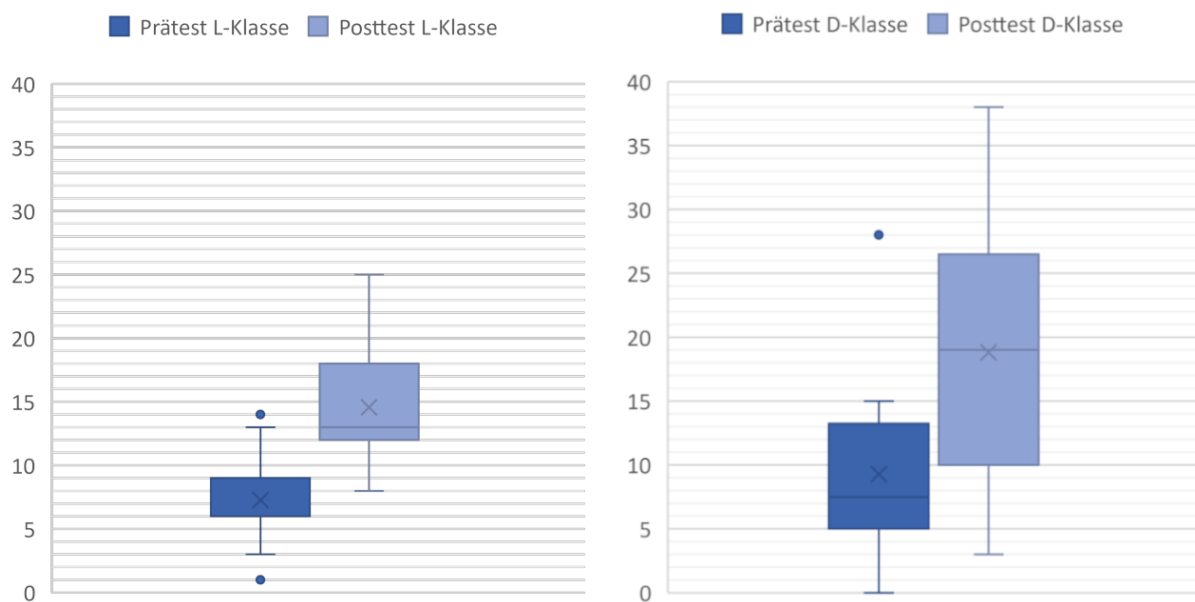


Abb.8: Lernzuwachs im Vergleich zwischen dem Kurs, der mit der Differenzierungsmatrix gearbeitet hat (D) und dem Kurs, der lehrerzentriert gearbeitet hat (L) als Boxplots (x = Mittelwert, Strich = Median, Box = unteres und oberes Quartil, senkr. Strich = Min. und Max.)

| L-Klasse | Mittelwert | Stand. Abw. | D-Klasse | Mittelwert | Stand. Abw. |
|--------------|------------|-------------|--------------|------------|-------------|
| Prätest | 7,39 | 3,76 | Prätest | 9,28 | 4,67 |
| Posttest | 15,33 | 4,38 | Posttest | 18,82 | 8,82 |
| Delta | 7,94 | | Delta | 9,54 | |
| Effektstärke | (0,622) | | Effektstärke | (0,554) | |

Abb.9: Deskriptive Statistik des Prä- und Posttests zum Lernzuwachs inkl. der Effektstärke nach Cohen

6. Ergebnisse

Offensichtlich ist die Aussagekraft des Vergleichs zwischen beiden Lerngruppen beschränkt. Auch wenn sie Parallelkurse waren, hatten sie unterschiedliche Zusammensetzungen, am offensichtlichsten bezüglich des sonderpädagogischen Förderbedarfs einzelner Schüler*innen. Dies wird durch den Vergleich der Ergebnisse beider Prätests (Abbildung 8) auch direkt deutlich; so ist das Vorverständnis bei der Vergleichsklasse mit lehrerzentriertem Unterricht (L-Klasse) offensichtlich viel homogener.⁷ Offensichtlich ist auch, dass es etwas anderes ist, ob ein Masterstudent oder ein erfahrener Lehrer, der den Kurs zudem schon länger kennt, unterrichtet. Weitere Gründe ließen sich leicht finden. Um solche Effekte zu eliminieren, wäre eine Untersuchung mit einer statistisch relevanten Anzahl von Kursen notwendig. Dennoch lassen sich einige relevante Schlussfolgerungen daraus ziehen.

6.1. Tatsächlicher Verlauf

Im Wesentlichen ist die Unterrichtsreihe wie geplant abgelaufen. Auffällig war:

- Die Schüler*innen haben deutlich weniger Aufgaben bearbeitet als von Lehrern und Schüler*in-

⁷ Die Standardabweichung der Ergebnisse im Posttest betrug bei der D-Klasse 4,67 gegenüber 3,76 bei der L-Klasse.

nen erwartet. Dies wurde auch von einigen Schüler*innen als unbefriedigend bewertet, wobei es dem Lernerfolg anscheinend nicht abträglich war. Eventuell haben die Schüler*innen teilweise aber auch nicht verstanden, dass es gar nicht das Ziel war, alles zu bearbeiten (siehe unten).

- Abbildung 4 zeigt, dass die Gruppen sehr verschiedene Wege durch die Matrix genommen haben. Es konnte kein Zusammenhang zwischen der Wahl des Weges und dem Lernzuwachs und/oder der Bewertung der Unterrichtsreihe durch die Schüler*innen festgestellt werden. Dies spricht dafür, dass es tatsächlich gelungen ist, eine didaktische Reduktion zu entwickeln, die keine feste Reihenfolge erfordert.
- Fast alle Gruppen haben sich vor allem im unteren Komplexitätslevel bewegt. Die Gründe dafür sind nicht ganz klar.
- Die Einschätzung, aus welchem Gebiet der Physik die Schüler*innen den Energiebegriff bereits kennen, hat sich nur teilweise bewahrheitet. Offenbar war z.B. chemische Energie deutlich bekannter als Strahlungsenergie. Da insgesamt die Wege durch die Matrix völlig verschieden waren, ist die Einschätzung der Autoren im Nachhinein, dass die Reihenfolge der Spalten in der Matrix eher irrelevant ist.

6.2. Lernzuwachs

Auffällig ist, dass der Lernzuwachs bei beiden Kursen relativ wie absolut im Mittel vergleichbar ist mit kleinem Vorsprung bei der Differenzierungsmatrix. Bei beiden Kursen führt der Unterricht zudem dazu, dass die Unterschiede des fachlichen Verständnisses innerhalb der Kurse größer werden; dabei ist dieser

Effekt beim Kurs, der mit der Differenzierungsmatrix gearbeitet hat, erheblich größer als beim Kurs, der lehrerzentriert gearbeitet hat (Abb. 8 und 9.)

Als Ergebnis lässt sich festhalten:

- Die gewählte didaktische Reduktion, die in beiden Kursen weitgehend gleich war, ist geeignet einen nicht nur knapp statistisch signifikanten, sondern ganz erheblichen Zuwachs im fachlichen Verständnis zu ermöglichen. Inwiefern sie erfolgreicher oder weniger erfolgreich als alternative Reduktionen ist, lässt sich allerdings nicht bestimmen. Da die gewählte Reduktion auch mit einer anderen Verortung des Themas Energie im Gesamtcurriculum der Physik einhergeht (siehe Abschnitt 3.1), würde es auch nicht reichen, in einem dritten Parallelkurs eine Unterrichtseinheit mit herkömmlichem Zugang zu untersuchen, um hier zu einer klaren Aussage zu kommen. Allerdings ist der Lernzuwachs so groß, dass man auch nach Einschätzung erfahrener Lehrer*innen, keine Gefahr läuft, mit dieser Reduktion etwas falsch zu machen; vielmehr scheint sie sich in beiden Kursen als Verbesserung gegenüber dem herkömmlichen Zugang bewährt zu haben, also auch für ziemlich verschiedene Methoden geeignet zu sein und für heterogene Gruppen.
- Es ist nicht eindeutig klar, inwieweit die erheblich größere Streuung beim Posttest der D-Klasse im Vergleich zum Posttest der L-Klasse auf die unterschiedlichen Gruppen, die unterschiedlichen Lehrpersonen oder die unterschiedliche Methode zurück geht. Die Auswertung der Freitext-Antworten legt aber nahe, dass die Arbeit mit der Differenzierungsmatrix leistungsstärkeren Schüler*innen entgegenkommt, wohingegen die erforderliche Eigeninitiative von eher leistungsschwächeren Schüler*innen nicht befürwortet wird und sie teilweise zu überfordern scheint. Dies kann aber auch mit der Gewöhnung an eine in den jeweiligen Kursen bislang relativ selten eingesetzte Methode, oder auch damit zu tun haben, dass die Unterrichtsstunden mit der Differenzierungsmatrix alle am Ende eines langen Schultages stattfanden, wohingegen die lehrerzentrierten Stunden am Morgen lagen.
- Gleichzeitig profitieren offenbar leistungsstärkere Schüler*innen auch dann erheblich von der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix, wenn sie in heterogenen Gruppen die Matrix durcharbeiten. Wahrscheinlich ist für sie die größere Entscheidungsfreiheit stark motivierend.
- Die Differenzierungsmatrix können Schüler*innen auch in festen und/oder heterogenen Gruppen durcharbeiten; es ist nicht notwendig (und in einem inklusiven Unterricht auch gar nicht gewollt), dass Schüler*innen Aufgaben allein bearbeiten oder für jede Aufgabe eine neue Gruppe von Schüler*innen bilden, die auf ähnlichem Stand sind.

6.3. Unterrichtsqualität und -kultur

Zunächst ist auffällig, dass es in diesem Bereich erstaunlich wenig Unterschiede zwischen beiden Kursen gibt⁸ und die Ergebnisse insgesamt recht erfreulich ausfallen. Eine mögliche Erklärung ist, dass das Team-Kleingruppen-Modell der Schule die Kultur Kurs-übergreifend positiv prägt. Eine andere mögliche Erklärung ist, dass die Wahl der Unterrichtsinhalte und die Zielsetzung einer Unterrichtseinheit eine dominante Rolle für die Haltung der Schüler*innen zum Unterricht spielt.

Auf den ersten Blick erstaunlich ist, dass die Schüler*innen einerseits in beiden Klassen angaben, dass sie anderen oft helfen konnten (U3), und auf der anderen Seite beklagten, dass sie bei der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix wenig „gemeinsam gearbeitet und geschafft“ (U1) und nicht so viel von den anderen gelernt hätten (U2). Hier geben die Einzelergebnisse zusammen mit den Freitext-Kommentaren Aufschluss: Im Zeitraum der Studie haben in jeder Unterrichtsstunde recht viele und wechselnde Schüler*innen gefehlt und mehrere Schüler*innen, die beim Unterricht mit der Differenzierungsmatrix geringe Zustimmung bei U1 und U2 angegeben haben, beschwerten sich in den Freitextkommentaren, dass dies die Gruppenarbeit erheblich beeinträchtigt habe und sie sich allein gelassen gefühlt hätten. Schüler*innen, die dieses Problem nicht erlebt haben, haben bei diesen Items dagegen relativ hohe Zustimmung angegeben. Dieses Problem wurde bei der Vorbereitung nicht antizipiert und sollte künftig berücksichtigt werden.

Ebenfalls auf den ersten Blick unklar ist, wie es zusammenpasst, dass Schüler*innen angaben, dass sie sich beim Unterricht mit der Differenzierungsmatrix gelangweilt hätten (U12), obwohl sie besser als beim lehrerzentrierten Unterricht wussten, was sie als nächstes machen konnten (U14), was der Sinn der Aufgaben war (U4) und den Lernprozess eigenständig gestalten konnten (U5), obwohl Themen und Aufgaben sehr ähnlich wie beim lehrerorientierten Vergleichsunterricht waren. Wiederum aus den Freitextkommentaren ergibt sich, dass der erfahrene Lehrer im lehrerzentrierten Unterricht die Schüler*innen, die keine Eigeninitiative aufbringen (vergleiche zweiten Punkt in Abschnitt 6.2), immer wieder aktiv in den Unterricht eingebunden hat, wohingegen die Lehrperson sich diesbezüglich sehr zu-

⁸ Helmke [20] schreibt auf Seite 5: „Offenbar können Schwächen und Defizite bei einem Qualitätsmerkmal durch Stärken bei einem anderen Merkmal kompensiert werden.“ Angesichts dessen lässt sich der (mit dem richtigen Vorzeichen versehene) Mittelwert der verschiedenen Items zur Unterrichtsqualität für beide Klassen ausrechnen und vergleichen mit dem Ergebnis, dass es keine signifikanten Unterschiede gibt. Dies ist zum Verständnis der Unterrichtssituationen aber wenig hilfreich, weil einerseits auffällig ist, dass es bei sehr vielen Items fast gar keinen Unterschied zwischen den beiden Klassen gibt, bei einigen jedoch sehr starke, die sich bei dieser Mittelung aber weitgehend aufheben.

rückgehalten hat, während die Schüler*innen mit der Differenzierungsmatrix gearbeitet haben. Eventuell ist auch eine Schwierigkeit, dass die persönliche Ansprache eine große Rolle spielt und während des Anfangsplenums weniger spezifisch auf die einzelnen Aufgaben zugeschnitten werden konnte, weil alle Gruppen nach dem Anfangsplenum erst noch diskutierten, wie sie weiter vorgehen und dann unterschiedliche Aufgaben gewählt haben.

Zuletzt fällt auf, dass bei der Unterrichtseinheit mit der Differenzierungsmatrix erstaunlich oft angegeben wurde, dass die Zeit nicht gereicht habe, um sich mit interessanten Dingen zu beschäftigen (U7), wobei gleichzeitig in der Regel genügend Zeit war, um Unverstandenes zu klären (U10 und U11). Die Freitextkommentare legen hier die Vermutung nahe, dass viele Schüler*innen es als unbefriedigend empfunden haben, nicht alle Aufgaben bearbeiten zu können, besonders die Schüler*innen, die die Aufgaben motivierend fanden. Dies mag einerseits daran liegen, dass die Schüler*innen vor allem Unterrichtsformate gewohnt waren, bei denen vorgesehen ist, dass alle Aufgaben bearbeitet werden sollen; andererseits wurde aus mehreren Freitext-Kommentaren deutlich, dass manche Schüler*innen die Idee, wie mit der Matrix gearbeitet werden sollte, offenbar nur teilweise verstanden hatten.

Die angesprochenen Schwierigkeiten lassen sich mit ein bisschen Erfahrung mit dieser Unterrichtsform absehbar korrigieren. Insgesamt ist bei der Bewertung dieser Ergebnisse zudem zu berücksichtigen, dass die Arbeit mit der Differenzierungsmatrix in dieser Form erstmalig durchgeführt wurde, wohingegen es sehr viel Erfahrung mit lehrerzentriertem Unterricht gab. Angesichts dessen und der nicht im Detail diskutierten Items ist insgesamt davon auszugehen, dass die Arbeit mit der Differenzierungsmatrix dem lehrerzentrierten Unterricht nach Einschätzung der Autoren strukturell in Bezug auf Unterrichtsqualität und -kultur überlegen ist.

6.4. Anschlussfähigkeit

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix in heterogenen Gruppen sowohl die soziale als auch die individuelle Anschlussfähigkeit sichergestellt wird. Gegenüber dem ursprünglichen Konzept, bei dem die Schüler*innen nicht gemeinsam, sondern individuell über ihren weiteren Weg durch die Matrix entscheiden, wird die soziale Anschlussfähigkeit gestärkt, ohne dass dies zulasten der individuellen Anschlussfähigkeit ginge, obwohl die Heterogenität der Lernzuwächse innerhalb der Gruppen sehr groß ist und die Gruppenarbeit durch die verschiedenen Mitglieder einer Gruppe teils sehr unterschiedlich wahrgenommen wird. Gleichzeitig scheint es zwischen den Gruppen kaum Unterschiede zu geben, was dafür spricht, dass der Lehrer, der die Gruppen zusammengestellt hat, die Schüler*innen recht gut einschätzen konnte.

Die Ergebnisse und insbesondere die Freitext-Kommentare zeigen, dass die Schüler*innen trotz einzelner Schwierigkeiten bei der Gruppenarbeit die Zusammenarbeit in der Gruppe klar befürworten; gleichzeitig gibt es noch Verbesserungspotenzial. Hierbei spielt nach Einschätzung der Autoren der Fokus, welcher während der Unterrichtsreihe von der Lehrperson gelegt wird, eine große Rolle. In der durchgeführten Reihe lag dieser eher auf der Bearbeitung der Felder als auf der Begleitung der Gruppen in ihren Prozessen und Herausforderungen.

7. Fazit

Das Thema Energie und der gewählte Zugang sind für die Schüler*innen interessant; mit der gewählten didaktischen Reduktion wurden die gesteckten Ziele erreicht:

- Früher als bei anderen Zugängen können interessante und gesellschaftlich relevante Themen der Physik behandelt werden.
- Die Schüler*innen können je nach Interesse und Fähigkeiten das Thema von verschiedenen Seiten her angehen, Schüler*innen mit unterschiedlichem Leistungsniveau und unterschiedlichen Ausgangslagen können sich das Thema Energie tatsächlich gemeinsam erarbeiten. Dies funktioniert so gut, dass die Reihenfolge der Spalten in der Matrix völlig irrelevant zu sein scheint.

Die Aufgaben/Anleitungen spielten eine zentrale Rolle bei der Begleitung auf dem Weg durch die Matrix und wurden von den Gruppen als motivierend und interessant empfunden.

Die Differenzierungsmatrix mit heterogenen Gruppen, die längere Zeit zusammenarbeiten ist vielversprechend, hat aber noch erhebliches Potenzial zur Verbesserung:

- Es hat sich gezeigt, dass die jeweiligen Gruppen einen gemeinsamen Weg durch die Matrix bevorzugen und lernen, sinnvoll gemeinsam Entscheidungen zu fällen, wobei die einzelnen Gruppen sehr unterschiedliche Wege gewählt haben.
- Besonders leistungsstärkere Schüler*innen mit hohem eigenem Antrieb profitieren von der freieren Unterrichtsstruktur. Auch wenn die Gruppen nicht auseinander brachen, hatten Schüler*innen mit geringer Eigeninitiative einen geringeren Lernzuwachs und es scheint notwendig, die Schüler*innen und Gruppen enger zu begleiten – mit der Chance, dass auch sie lernen, Eigeninitiative zu entwickeln, was in vielen Unterrichtskonzepten gar nicht erlernt werden kann.
- Es ist notwendig, eine bessere Einführung in die Arbeit mit der Matrix zu geben, sodass weniger Missverständnisse aufkommen.
- Es muss ein Konzept erarbeitet werden, wie es gelingt, dass Fehlzeiten von Schüler*innen die Gruppenarbeit weniger erschweren.

Nach Ansicht der Autoren lassen sich viele der nötigen Verbesserungen angehen, indem die Aufgaben mehr produktorientiert ausgerichtet werden: Anhand von (Zwischen-)Produkten können Schüler*innen potenziell besser diskutieren und reden weniger leicht aneinander vorbei. Dadurch könnte es bei heterogenen Gruppen den anderen Schüler*innen und auch der Lehrperson, die ja nicht permanent alle Gruppengespräche gleichzeitig verfolgen kann, schneller auffallen, wenn einzelne Schüler*innen ein unzureichendes oder sogar falsches Verständnis haben. Wenn Fehlzeiten erfordern, Gruppen zu verändern, damit niemand allein dasteht, können Zwischenprodukte Kontinuität herstellen. Sie können zudem ein Bezugspunkt für Schüler*innen sein, die sonst Schwierigkeiten haben, sich bei selbstbestimmter Arbeit eigeninitiativ zu fokussieren. Nicht zuletzt vereinfachen sie die Ergebnissicherung, auch wenn sich entgegen der Erwartung der Autoren herausgestellt hat, dass hier kein vornehmlicher Verbesserungsbedarf besteht.

Die Aufteilung der Spalten der Differenzierungsmatrix nach Bereichen der Physik war vor allem der Tatsache geschuldet, dass es den Rahmen der Arbeit gesprengt hätte, komplett neue Aufgaben und Versuche so weit auszuarbeiten, dass sie mit seit Jahrzehnten Verbessertem mithalten können. Dementsprechend waren die Aufgaben entsprechend der traditionellen Behandlung der Energie im Unterricht größtenteils einzelnen Bereichen der Physik zugeordnet, obwohl eine Kernidee der didaktischen Reduktion gerade darin bestand, Umwandlungsprozesse auch über die Grenzen dieser Bereiche hinweg in den Blick zu nehmen. Anscheinend ließ sich dieses Problem durch die behutsame Abwandlung und vor allem auch Kontextualisierung bewährter Aufgaben und Experimente soweit lösen, dass die didaktische Reduktion dennoch uneingeschränkt funktioniert hat. Es wäre eine Überlegung wert, die Matrix(spalten) nicht nach Gebieten der Physik, sondern nach Umwandlungen einzuteilen, etwa „Umwandlung Mechanische Energie → Mechanische Energie“ und „Umwandlung Strahlungsenergie → thermische Energie“. Auch könnte noch mehr der Frage nachgegangen werden, wie triftig die Zeileneinteilung ist.

Auf der Ebene der Evaluation wäre zudem eine dritte Untersuchung des Lernstandes nach einigen Monaten wünschenswert, um die Nachhaltigkeit der untersuchten Ansätze genauer in den Blick zu nehmen.

8. Literatur

- [1] Stinken-Rösner et al.: Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives. In: RISTAL, 3/2020, S. 30-45
- [2] Sasse, A., Schulzeck, U.: Differenzierungsmatrizen als Modell der Planung und Reflexion inklusiven Unterrichts – zum Zwischenstand in einem Schulversuch. In: Andreas Jantowski (Hrsg.) Thillm. – Gemeinsam leben. Miteinander lernen. 1. Auflage, Bad Berka: Tillm, 2013.

- [3] Wilhelm et al. (Hrsg.): Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht – Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 1. Auflage, Berlin: Springer 2021
- [4] Textor, A.: Einführung in die Inklusionspädagogik. 2. Auflage, Bad Heilbrunn: Klinkhardt [UTB] 2018
- [5] Wagenschein, M.: Zum Problem des Genetischen Lehrens. Vortrag im Seminar für Didaktik der Mathematik an der Universität Münster, 7. 12. 1965
<http://www.martin-wagenschein.de/en/2/W-172.pdf>
- [6] Planck, M. (1887), Das Princip von der Erhaltung der Energie. Leipzig: Teubner
<https://archive.org/details/dasprincipdererh00planrich/dasprincipdererh00planrich>
- [7] MSW NRW (Hrsg.) (2013): Kernlehrplan für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen, Naturwissenschaften Biologie, Chemie, Physik.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/130/KLP_GE_NW.pdf
- [8] Aebli, H.: Grundformen des Lernens. 10. Auflage, Stuttgart, Klett 1977
- [9] Feuser, G.: Die Kooperation am gemeinsamen Gegenstand – ein Entwicklung induziertes Lernen. In: Feuser, Kutscher (Hrsg.): Entwicklung und Lernen. Stuttgart, Kohlhammer 2013
- [10] Gadamer, H.: Wahrheit und Methode. Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik. In: Hans-Georg Gadamer – Gesammelte Werke. Band 1: Hermeneutik I: 7. Auflage, Mohr Siebeck, Tübingen 2010.
- [11] Wahrheit und Methode (31.5.2023). In: Wikipedia.
https://de.wikipedia.org/wiki/Wahrheit_und_Methode
- [12] Bogart, S.: SankeyMATIC. Ein freies online-Tool zur Erstellung von Energieflussdiagrammen (Sankey-Diagrammen), das auch im Unterricht verwendet werden kann
<https://sankeymatic.com/> (abgerufen am 3.9.2023)
- [13] Abels, S.: Naturwissenschaftliche Kompetenzen und Inklusion – Inklusion durch Kompetenzorientierung? In: S. Habig, S. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Wien 2019 (S. 20-30). Essen: Universität Duisburg-Essen 2020.
- [14] Trautmann, M., Wischer, B.: Das Konzept der inneren Differenzierung – eine vergleichende Analyse der Diskussion der 1970er Jahre mit dem aktuellen Heterogenitätsdiskurs. In: Zeitschr. f. Erziehungswissenschaften, Sonderheft 9/2008

- [15] Bönsch, M.: Methodische Aspekte der Differenzierung im Unterricht. 3. Auflage, München: Ehrenwirth 1976
- [16] Thüringer Forschungs- und Arbeitsstelle für inklusive Bildung (Hrsg.): Differenzierungsmatrix – ein Modell zur Planung von Unterricht in heterogenen Lerngruppen. Materialsammlung zur Arbeit mit Differenzierungsmatrizen (31.5.2023)
<http://www.gu-thue.de/matrix.htm>
- [17] Woest, V. & Engelmann, P.: Fächerverbindender naturwissenschaftlicher Unterricht. In: In A. Sasse & U. Schulzeck (Hrsg.): Inklusiven Unterricht planen, gestalten und reflektieren. Die Differenzierungsmatrix in Theorie und Praxis. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt 2021, Bd. 1, S. 125–142
- [18] Schütz, B. et al.: Stichwort – formatives Assessment. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 4 (2018), S. 697-715
- [19] Baumert, B., Vierbuchen, M.-C.: Eine Schule für alle – Wie geht das? Qualitätsmerkmale und Gelingensbedingungen für eine inklusive Schule und inklusiven Unterricht. In Zeitschrift für Heilpädagogik 11 (2018) S. 526–541
- [20] Helmke, A.: Was wissen wir über guten Unterricht? Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Unterrichtsforschung und Konsequenzen für die Unterrichtsentwicklung. Internetressource (2007)
http://www.bildung.koeln.de/imperia/md/content/selbst_schule/downloads/andreas_helmke.pdf
- [21] Universität Zürich (Hrsg.): UZH-Methodenberatung – Wilcoxon-Test. (31.5.2023)
https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/wilcoxon.html
- [22] Universität Zürich (Hrsg.): UZH- Methodenberatung – Kruskal-Wallis-Test. (31.5.2023)
https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/kruskal.html