

Abstract

Die Newton'sche Mechanik stellt für viele SchülerInnen eines der schwierigsten Inhaltsgebiete dar. Selbst nach dem Unterricht verfügen diese oft nicht über ein adäquates Verständnis und weisen in diesem Inhaltsgebiet besonders viele und stabile SchülerInnenvorstellungen auf. Aufgrund dieser Problematik wurden verschiedene alternative Zugänge für den Unterricht zur Newton'schen Mechanik entwickelt. Einen dieser Zugänge bildet das zweidimensional-dynamische Mechanikkonzept, welches in unterschiedlichen Ausführungen für die Sekundarstufe I und II immer im Vergleich zu „konventionellem“ Mechanikunterricht positiv evaluiert und dabei fortlaufend überarbeitet wurde. In allen bisherigen Studien wurden neben der Elementarisierung weitere Parameter wie beispielsweise der Medieneinsatz verändert oder die Treatmentgruppe mit zusätzlichen, aufgearbeiteten Materialien unterstützt, so dass die positiven Effekte nicht ausschließlich der veränderten Elementarisierung zugeschrieben werden können. Weitere Einschränkungen bestehen in der unklar definierten Kontrollgruppe in Form des „konventionellen“ Mechanikunterrichts und der potenziellen Bevorzugung der Treatmentgruppe durch die Testinstrumente.

Die Studie in dieser Arbeit untersucht den isolierten Effekt der Elementarisierung auf den Lernzuwachs der SchülerInnen im Mechanikunterricht der Sekundarstufe I, indem dem aktuellsten zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzept nach Wiesner (2DD-Mechanikkonzept) eine standardisierte Vergleichsgruppe in Form einer eindimensional-dynamischen Adaption (1D-Adaption) gegenübergestellt wird, die es erlaubt, alle übrigen Einflussfaktoren konstant zu halten. Damit können zum einen die positiven Ergebnisse der bisherigen Studien überprüft werden. Zum anderen wird aber auch ein Beitrag zur Grundlagenforschung geleistet, indem Einblick in den Einfluss von Elementarisierungen auf den Lernzuwachs der SchülerInnen gegeben wird.

Die Studie fand in den Schuljahren 2019/20 und 2020/21 statt. Hierbei unterrichteten 27 Lehrkräfte in 56 Klassen nach den beiden Mechanikkonzepten. Die Studie verlief in beiden Treatmentgruppe inklusive Materialien und Testungen nach dem gleichen Schema, wobei der einzige Unterschied in der Elementarisierung bestand.

In beiden Treatmentgruppen konnte ein höchst signifikanter Lernzuwachs in der Größenordnung eines LehrerInneneffekts nachgewiesen werden. Vergleicht man den Lernzuwachs zwischen den Treatmentgruppen lässt sich kein Unterschied feststellen. In dieser Studie hat also der Unterschied in den Elementarisierungen keinen Einfluss auf den Lernzuwachs der SchülerInnen. Des Weiteren zeigt sich in beiden Gruppen keine Varianz im Lernzuwachs auf der Klassenebene. Dies führt insbesondere zu dem Ergebnis, dass die coronabedingt online unterrichteten Klassen ebenso gut dazugelernt haben wie die im Präsenzunterricht.

Abstract (english)

Newtonian mechanics is one of the most difficult content areas for many students. Even after instruction, they often do not have adequate comprehension and have particularly many and stable preconceptions in this content area. Because of this problem, various alternative approaches for teaching Newtonian mechanics were developed. One of these approaches is the two-dimensional dynamic mechanics concept, which in different versions for secondary level I and II has always been positively evaluated in comparison to “conventional“ instructions and has been continuously revised. In all previous studies, in addition to educational reconstruction, other parameters such as the use of media were changed or the treatment group was supported with additional, processed materials, so that the positive effects cannot be ascribed exclusively to the changed educational reconstruction. Further restrictions exist in the unclearly defined control group in the form of “conventional“ instructions and the potential preference given to the treatment group by the test instruments.

The study in this thesis examines the isolated effect of educational reconstruction on the learning progress of the students in mechanics at lower secondary school by using a standardized comparison group in the form of a one-dimensional dynamic adaptation (1D adaptation) of the current two-dimensional dynamic mechanics concept according to Wiesner (2DD mechanics concept), which allows all other influencing factors to be kept constant. On the one hand, this allows the positive results of previous studies to be checked. On the other hand, it also makes a contribution to basic research by providing an insight into the influence of educational reconstructions on the learning progress of students.

The study took place in the school years 2019/20 and 2020/21. Here, 27 teachers taught in 56 classes according to the two mechanical concepts. The study was carried out in both treatment groups, including materials and tests, according to the same scheme, the only difference being educational reconstruction.

In both treatment groups, a highly significant increase in learning progress in the order of magnitude of a teacher effect could be demonstrated. If the learning progress between the treatment groups is been compared, no difference can be found. In this study, the difference in educational reconstructions has no influence on the learning progress of the students. Furthermore, there is no variance in the learning progress at the class level in either group. This leads in particular to the result that the corona-related classes taught online have learned just as well as those in classroom teaching.

1 Einleitung

SchülerInnen bringen aus ihrem Alltag viele Erfahrungen mit mechanischen Vorgängen in Form von stabilen SchülerInnenvorstellungen mit in den Mechanikunterricht der Sekundarstufe I (Clement, 1982; Nachtigall, 1986; Schecker, 1975; Schecker et al., 2018), welche in vielen Fällen auch noch nach dem Unterricht bei den SchülerInnen nachgewiesen werden können. Allein dies macht die Newton'sche Mechanik zu einem schwierigen Inhaltsgebiet. Eine weitere Problematik ergibt sich beim „konventionellen“¹ Mechanikunterricht dadurch, dass der Kraftbegriff in der Regel über die Statik eingeführt wird. Diese ungünstige Sachstruktur kann dazu führen, dass keine adäquate Verbindung zwischen den Begriffen der Kinematik und Dynamik hergestellt wird, was wiederum zu Lernschwierigkeiten und SchülerInnenvorstellungen führen kann (Schecker et al., 2018; Wilhelm, 2018). Problematisch sind aber auch abstrakte Darstellungsformen von Bewegungen in Form von $s(t)$ –, $v(t)$ –, und $a(t)$ –Diagrammen, wenn sie zu früh im Unterricht eingeführt werden (Wilhelm, 2018). Die eben genannten Gründe können dazu führen, dass die SchülerInnen auch nach dem Unterricht nicht über ein adäquates Verständnis besonders im Hinblick auf den physikalischen Kraftbegriff verfügen.

Um diesem Problem entgegenzuwirken wurden verschiedenen alternative Elementarisierungen zur Newton'schen Mechanik entwickelt, darunter das zweidimensional-dynamische Mechanikkonzept (Jung et al., 1977; Wilhelm, 2005; Wodzinski & Wiesner, 1994a, 1994b, 1994c), und im Vergleich zu „konventionellem“ Mechanikunterricht positiv evaluiert (Jung & Callsen, 1976; Tobias, 2010; Wilhelm, 2005), wobei unklar bleibt, welchen Effekt die Elementarisierung allein auf den Lernzuwachs der SchülerInnen hat. Die bisherigen Studien waren stets so aufgebaut, dass die Treatmentgruppe nach einem aufbereiteten Mechaniklehrgang unterrichtet wurde, welcher sich neben der Elementarisierung auch in der Unterrichtsstruktur sowie im Medieneinsatz vom Unterricht in der Kontrollgruppe unterschieden hat. Insgesamt bleibt der „konventionelle“ Mechanikunterricht der Kontrollgruppe in den Arbeiten unklar definiert, indem zum Beispiel offen bleibt, welcher Zugang zum Kraftbegriff (statisch oder dynamisch) gewählt wurde. Weitere Einschränkungen in Bezug auf die Vergleichbarkeit von Treatment- und Kontrollgruppe bestehen darin, dass die Lehrkräfte der Treatmentgruppe stets mit zusätzlichen Materialien unterstützt wurden und die Treatmentgruppe potenziell durch die eingesetzten Testinstrumente bevorzugt wurde. Es ergeben sich somit eine ganze Reihe von potenziell konfundierten Variablen, welche Einfluss auf den Lernzuwachs der SchülerInnen und somit auf die positiven Ergebnisse der alternativen Elementarisierungen haben könnten. Es kann also nicht valide

¹Aufgrund der unklaren Definition, wird das Wort „konventionell“ in der gesamten Arbeit stets in Anführungsstriche gesetzt, da keine der hier vorgestellten Studien eine genauere Definition liefert.

von den positiven Ergebnissen der Studien auf einen Effekt der Elementarisierung auf den Lernzuwachs der SchülerInnen geschlossen werden.

Aus den eben genannten Einschränkungen der bisherigen Studien ergibt sich die übergeordnete Forschungsfrage dieser Arbeit:

- Welchen Effekt hat die (isolierte) Elementarisierung auf den Lernzuwachs der SchülerInnen (im Mechanikunterricht in der Sekundarstufe I)?

Durch die Beantwortung können sowohl die Ergebnisse der bisherigen Studien erneut bestätigt werden und es wird ein Beitrag zur Grundlagenforschung geliefert. Zur Beantwortung dieser übergeordneten Forschungsfrage wird als Ausgangspunkt das 2DD-Mechanikkonzept aus der Arbeit von Tobias (2010) gewählt, da dieses zum Zeitpunkt dieser Arbeit die aktuellste Studie zur Elementarisierung der Mechanik in der Sekundarstufe I bildet und durch die diversen Vorarbeiten bereits vielseitig empirisch erforscht und positiv bewertet wurde. Diesem Konzept wird als Vergleichsgruppe eine 1D-Adaption gegenübergestellt, welche sich bezogen auf die Elementarisierung in eindeutig benennbaren Parametern vom 2DD-Mechanikkonzept unterscheidet, gleichzeitig aber ein Konstanthalten aller anderen Gestaltungsmerkmale ermöglicht. Daraus ergeben sich schließlich die beiden Forschungsfragen dieser Arbeit:

1. In welchem Umfang führt der Unterricht nach den beiden Elementarisierungen der Kinematik und Dynamik (1D-Adaption und 2DD-Mechanikkonzept) in beiden Treatmentgruppen zu einem Lernzuwachs der SchülerInnen in der Sekundarstufe I?
2. Welche Unterschiede im Lernzuwachs bei den SchülerInnen gibt es zwischen dem Unterricht nach den beiden Elementarisierungen der Kinematik und Dynamik (1D-Adaption und 2DD-Mechanikkonzept) in der Sekundarstufe I, wenn die anderen Gestaltungsmerkmale kontrolliert werden?

Für die Beantwortung der beiden Forschungsfragen ist die vorliegende Arbeit, wie folgt, gegliedert. Als Vorbereitung im Theorieteil wird zunächst in Kapitel 2 der fachdidaktische Hintergrund aufgearbeitet, indem der Begriff der Elementarisierung verbunden mit dem Modell der didaktischen Rekonstruktion eingeführt wird. Gleichzeitig wird an dieser Stelle durch die Einbeziehung des Verstehensmodells nach Drollinger-Vetter (2011) ein einheitliches Begriffsnetz für die gesamte Arbeit aufgebaut. Anschließend werden in Kapitel 3 die fachlichen Grundlagen der Mechanik zusammengefasst, da diese insbesondere Voraussetzung für das Verständnis der alternativen Elementarisierungen bilden. In Kapitel 4 wird der aktuelle Stand der Forschung in zwei Bereichen präsentiert. Zum einen werden die bekannten SchülerInnenvorstellungen zur Mechanik vorgestellt und zum anderen die bisherigen Forschungsarbeiten zum zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzept zusammengefasst. Im Zuge dessen werden die verschiedenen alternativen Elementarisierungen der Mechanik vorgestellt und begründet sowie Einschränkungen in den bisherigen Evaluationsstudien herausgearbeitet. Die Einschränkungen werden in Kapitel 5 dazu verwendet offene Fragen in der fachdidaktischen Forschung zu benennen und schließlich die Forschungsfragen dieser Arbeit zu formulieren.

Im empirischen Teil dieser Arbeit werden zunächst in Kapitel 6 das Forschungsdesign, die Stichprobe sowie die eingesetzten Instrumente und erfasste Variablen erläutert. Hauptteil des Methodenkapitels bildet das Aufstellen einer Validierungslogik, welche die verschiedenen Übersetzungsschritte von den Fragestellungen dieser Arbeit hin zu den gemessenen Werten durch die eingesetzten Testinstrumente benennt. Diese Übersetzungsschritte sind mit gewissen Argumenten verbunden, welche im Verlauf des Kapitels diskutiert werden. In Kapitel 7 werden schließlich die Ergebnisse der empirischen Studie vorgestellt, die anschließend in Kapitel 8 diskutiert werden. In Kapitel 8 wird des Weiteren auch auf die Limitationen der Studie eingegangen. Den Abschluss der Arbeit bildet im dritten Teil die Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse in Kapitel 9 und der Ausblick in Kapitel 10. Zusätzlich findet sich im Anhang in Kapitel A ein Überblick über die eingesetzten statistischen Verfahren und Auswertungsmethoden.

2 Fachdidaktischer Hintergrund

Im ersten Teil dieser Arbeit werden die theoretischen Grundlagen zur Elementarisierung und für das damit verbundene Modell der didaktischen Rekonstruktion zusammengefasst. Damit soll zum einen ein Überblick über das fachdidaktische Verständnis von diesem Gebiet gegeben und zum anderen ein einheitliches Begriffsverständnis beim Lesen der Arbeit gewährleistet werden.

2.1 Elementarisierung

Unter dem Begriff der Elementarisierung versteht man allgemein den Anpassungsvorgang von komplexen Gegenständen und Sachverhalten der fachlichen Physik auf das Auffassungsvermögen und die geistige Leistungsfähigkeit einer zu unterrichtenden Zielgruppe (z. B. SchülerInnen einer bestimmten Jahrgangsstufe oder Schulform) (vgl. Bleichroth et al., 1991, S. 95).

2.1.1 Aspekte der Elementarisierung

Der Vorgang der Elementarisierung besteht nach Bleichroth et al. (1991, S. 95ff) aus den folgenden drei Aspekten:

1. Die Festlegung des Elementaren, das heißt des Kerns der Sache (z.B. ein Prinzip, eine grundlegende Idee oder ein Gesetz)
2. Die Vereinfachung (Verringerung des Niveaus und der Komplexität beispielsweise durch die Beschränkung auf qualitative Aussagen, Vernachlässigen von Einflussfaktoren oder die Überführung in bildhaft-symbolische Darstellungen)
3. Die Zerlegung in Elemente (d.h. die Zerlegung in methodische Schritte)

Die drei Aspekte sind, so betont Bleichroth et al. (1991, S. 98), nicht als eine vorgeschriebene Abfolge oder als verschiedene Arten von Elementarisierung zu verstehen. Beim Prozess der Elementarisierung müssen vielmehr alle drei Aspekte berücksichtigt werden. Diese drei Aspekte werden von Reinhold (2006) noch um einen vierten Aspekt, der (empirischen) Erprobung im Unterricht, ergänzt.

Im Unterschied zu den oben genannten Aspekten unterscheiden Wiesner et al. (2013, S. 72ff) beim Prozess der Elementarisierung verschiedene Schwerpunkte, welche von den gesetzten Zielen und den Voraussetzungen durch die Adressatengruppe abhängig sind:

- Inhaltliche Elementarisierung: Hierbei geht es um die Bestimmung der grundlegenden Aussage beziehungsweise der fundamentalen Idee eines Themas. Dies können allgemeine Gesetzmäßigkeiten (z.B. die Newton'sche Bewegungsgleichung) oder auch prototypische Phänomene für grundlegende physikalische Konzepte (z.B. die Energieerhaltung anhand eines Dynamos) sein. Dies entspricht der Festlegung des Elementaren bei Bleichroth et al. (1991).
- Elementarisierung als Vereinfachung (didaktische Reduktion): Hierunter versteht man die Anpassung der Inhalte an das Auffassungsvermögen und die geistige Leistungsfähigkeit der Zielgruppe durch Reduktion der Komplexität. Dies entspricht der Definition der Vereinfachung bei Bleichroth et al. (1991).
- Methodische Elementarisierung: Damit ist die Zerlegung des Lerngegenstandes in elementare Lernschritte gemeint, welche aufeinander aufbauend einer inneren Konsistenz folgen. Hierbei geht es zunächst um die Klärung, welches Vorwissen und welche Kompetenzen bereits bei den Lernenden vorhanden sind, um daraus die noch notwendigen Wissens Elemente (z.B. Begriffe, Gesetze oder Methoden) zu bestimmen. Dies entspricht der Zerlegung der Elemente bei Bleichroth et al. (1991).
- Begriffliche Elementarisierung: Im Gegensatz zur inhaltlichen Elementarisierung geht es hier um den Aufbau von übergeordneten Leitideen, die sich über einzelne Themen hinaus erstrecken (z.B. den Begriff der Wechselwirkung). Die so entstehenden Leitideen können flexibel auf neue Situationen oder Problemstellungen übertragen werden. Die begriffliche Elementarisierung unterscheidet sich von den anderen Schwerpunkten und der Definition der Elementarisierung bei Bleichroth et al. (1991) dadurch, dass es hier nicht um die Zerlegung in kleinere Einheiten, sondern um eine Zusammenfassung auf höherer Ebene geht.

Alle drei Aspekte von Bleichroth et al. (1991) finden sich bei Wiesner et al. (2013) wieder mit dem Unterschied, dass hier von Schwerpunkten und nicht von notwendigen Aspekten der Elementarisierung gesprochen wird.

In dieser Arbeit wird zur Diskussion und zum Vergleich von verschiedenen Elementarisierungen der begriffliche Rahmen von Wiesner et al. (2013) übernommen, da bei Verwendung dieser Begrifflichkeiten immer ein direkter Bezug zur Elementarisierung als Ganzes sichtbar und somit auch eine Anschlussfähigkeit an aktuellere fachdidaktische Literatur gegeben ist. Es wird also nicht von der Festlegung des Elementaren oder der Zerlegung in Elemente, sondern von der inhaltlichen bzw. methodischen Elementarisierung gesprochen. Diese werden allerdings als notwendige Aspekte im Sinne von Bleichroth et al. (1991) und nicht als mögliche Schwerpunkte einer Elementarisierung definiert. Es handelt sich bei den verschiedenen Aspekten um gleichwertige Ebenen. Die begriffliche Elementarisierung bildet eine Ausnahme, weil es sich hierbei um eine Zusammenfassung auf höherer Ebene über ein einzelnes Thema hinaus handelt. Da sich diese Arbeit auf den Themenbereich der Mechanik beschränkt ist eine Unterscheidung von verschiedenen begrifflichen Elementarisierungen nicht notwendig, weil keine übergeordneten Leitideen aufgebaut werden.

Wird im Folgenden also der Begriff Elementarisierung verwendet, sind, soweit nicht weiter differenziert, immer die inhaltliche und methodische Elementarisierung sowie die didaktische Reduktion gemeint.

2.1.2 Kriterien der Elementarisierung

Die Elementarisierung muss gewissen Kriterien genügen. Sie muss fachgerecht, adressatengerecht (schülerInnengerecht) und zielgerecht sein (Wiesner et al., 2013, S. 74ff). Kircher (2015, S. 111f) hingegen beziehen diese Kriterien nicht auf die Elementarisierung, sondern auf die didaktische Rekonstruktion (siehe Kap. 2.2) als Gesamtprodukt. Die Kriterien werden im Folgenden weiter ausgeführt (vgl. Kircher, 2015, S. 111ff):

- fachgerecht: Mit dem Kriterium ist gemeint, dass die Sinneinheiten der Elementarisierung keine grundlegend physikalisch falschen Aussagen enthalten dürfen. Aufgrund von didaktischer Reduktion (Vereinfachung) können oder sollen gerade nicht immer alle Aspekte einer Gesetzmäßigkeit oder eines Konzepts berücksichtigt werden. Entscheidend ist an dieser Stelle die Klärung der sogenannten fachlichen Relevanz. Es soll die Frage danach beantwortet werden, ob die Aussagen zwar nicht komplett fachlich richtig aber in der betrachteten Modellvorstellung oder Analogie als gültig erachtet werden können. Darüber hinaus muss eine Elementarisierung nach Jung (1973) anschlussfähig und erweiterbar sein. Die grundlegenden Bedeutungen müssen also erhalten bleiben, auch wenn im späteren Unterrichtsverlauf neue Begriffe oder Zusammenhänge hinzugefügt werden. Die Aneignungslogik stimmt dabei oft nicht mit der Sachlogik überein.
- adressatengerecht: Als nächstes Kriterium muss die Elementarisierung adressatengerecht (schülerInnengerecht) sein. Die Elementarisierung sollte möglichst auf dem Vorwissen und den Präkonzepten der SchülerInnen aufbauen sowie insbesondere vorhandene (inadäquate) Alltagsvorstellungen berücksichtigen. Des Weiteren soll die Elementarisierung auch motivational auf die SchülerInnen abgestimmt sein, indem zum Beispiel Bezüge zur Alltagswelt der SchülerInnen hergestellt werden.
- zielgerecht: Das letzte Kriterium ist, dass die Elementarisierung zielgerecht (didaktisch relevant) sein muss. Sie muss auf das Ziel des Unterrichts abgestimmt sein. Das Ziel von Physikunterricht muss nicht in allen Fällen die Vermittlung von Fachwissen sein. Kircher (2015, S. 28ff) spricht allgemein neben der fachlichen Dimension auch von der gesellschaftlichen (z.B. Verständnis der Natur der Naturwissenschaften oder Erkenntnisgewinnung) und der pädagogischen Dimension (z.B. humanes Lernen) des Physikunterrichts.

Eine Elementarisierung stellt keine isolierte Anwendung auf einzelne Begrifflichkeiten oder Themen der Physik dar (Wiesner et al., 2013, S. 77). Sie kann vielmehr als Teilprozess im Rahmen des übergeordneten Modells der didaktischen Rekonstruktion (siehe Kap. 2.2) verstanden werden.