

doi.org/10.1002/ckon.202200015

# „Das verbrannte Holz betreibt ja keine Fotosynthese mehr“ – Analyse der Lernhürden bei der Erstellung von Kohlenstoffkreisläufen anhand von Unterrichtsvideos

Christina Krabbe,\* Frederic Thelen, Kathryn Simonds und Insa Melle\*<sup>[a]</sup>

**Zusammenfassung:** Die Nutzung von fossilen und regenerativen Rohstoffen zur Energiegewinnung und deren Beitrag zum Kohlenstoffkreislauf ist ein komplexes Thema, welches unterschiedliche (Schüler:innen-)Schwierigkeiten mit sich bringt. Darum ist es umso wichtiger, bei der Planung eines solchen Unterrichts diese Lernhürden zu berücksichtigen. Um Studierende dafür zu professionalisieren, bietet sich die Arbeit mit Videos von realem Unterricht an. Daher wurden Unterrichtsvideos erstellt und deren Einsatz in einer Lehrveranstaltung beforscht. Die Videos zeigen Schüler:innen bei der Erstellung von Kohlenstoffkreisläufen und offenbaren (Schüler:innen-)Schwierigkeiten im Prozess der Aufgabenbearbeitung. Der Beitrag führt literaturbekannte Lernhürden zum Thema auf und zeigt anhand der ausgewerteten Ergebnisse der Videoanalysen, welche (Schüler:innen-)Schwierigkeiten Studierende anhand der entwickelten Unterrichtsvideos identifizieren können.

**Stichworte:** Unterrichtsvideos · Schüler:innenschwierigkeiten · Lernhürden · Stoffkreisläufe

**“After all, the burnt wood no longer performs photosynthesis” – analyzing (students’) difficulties in drawing up carbon cycles with the help of videos cases**

**Abstract:** The energetic use of fossil and regenerative resources and their contribution to the carbon cycle is a complex topic that causes different (students’) difficulties. Therefore, it is especially important to consider these difficulties when planning such lessons. A suitable approach to sensitize future teachers within this regard is working with video cases of real lessons. Hence, lessons were recorded and their use in a university lecture was analyzed. These videos show students creating carbon cycles and reveal (students’) difficulties in the process of completing the task. The article reports common documented/researched barriers in learning about the topic. Further, it shows which difficulties the future teachers were able to identify by means of analyzing the video cases.

**Keywords:** video cases · students’ difficulties · learning barriers · material cycles

## 1. Einleitung

Schülerinnen und Schüler einer Klassenstufe unterscheiden sich bspw. aufgrund ihrer heterogenen fachlichen Fähigkeiten sowie unterschiedlichen Motivationen und Interessen [1]. In der Folge ist es stärker erforderlich, dass Lehrkräfte ihren Unterricht an die unterschiedlichen Lernvoraussetzungen der Schüler:innen anpassen und diesen adaptiv gestalten [1,2]. Der gezielten Anpassung des Unterrichts muss eine genaue Beobachtung und Analyse der Lernsituation vorausgehen, welches von Lehramtsstudierenden in der universitären Ausbildung mithilfe von Videos von realen Unterrichtssituationen erlernt werden kann [3]. Lernsituationen können so ohne Handlungsdruck von den Studierenden beobachtet und aufgabengeleitet analysiert werden [4]. Anschließend kann das Un-

terrichtsmaterial auf dieser Grundlage adaptiert und ein flexiblerer, zugänglicherer Unterricht geplant werden [2,5]. Zu diesem Zweck wurden Unterrichtsvideos entwickelt und in chemiedidaktischen Lehrveranstaltungen eingesetzt [6].

Aufgrund der Aktualität wurde für den videografierten Unterricht das komplexe und anspruchsvolle Thema der Nachhaltigkeit gewählt. Im Fokus steht hier der Vergleich der Nutzung von fossilen und regenerativen Brennstoffen zur Energiegewinnung sowie deren Beitrag zum Kohlenstoffkreislauf. In Zusammenhang mit dem natürlichen Kohlenstoffkreislauf und den anthropogenen Einflüssen der Verbrennung von Rohstoffen werden konkrete Schwierigkeiten in der Literatur beschrieben, welche im folgenden Kapitel näher ausgeführt werden. Nachfolgend werden die entwickelten Unterrichtsvideos vorgestellt und aufgezeigt, welche (Schüler:innen-)Schwierigkeiten bzw. Lernhürden Studierende mit deren Hilfe identifizieren konnten.

## 2. Der Kohlenstoffkreislauf der Nutzung von fossilen und regenerativen Brennstoffen zur Energiegewinnung

Die energetische Nutzung von fossilen und regenerativen Brennstoffen greift in den natürlichen Kohlenstoffkreislauf ein. Zuvor gespeicherter Kohlenstoff in Form verschiedenster Verbindungen wie Cellulose oder Kohlenwasserstoffe wird bei der Verbrennung als Kohlenstoffdioxid freigesetzt und beein-

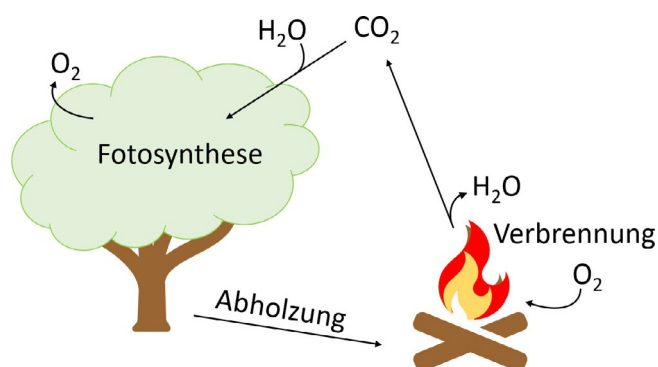
[a] C. Krabbe, F. Thelen, K. Simonds, I. Melle  
Technische Universität Dortmund  
Fakultät für Chemie und Chemische Biologie  
Otto-Hahn-Str. 6  
44227 Dortmund  
\* E-Mail: christina.krabbe@tu-dortmund.de  
insa.melle@tu-dortmund.de

© 2022 The Authors. CHEMKON published by Wiley-VCH GmbH. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

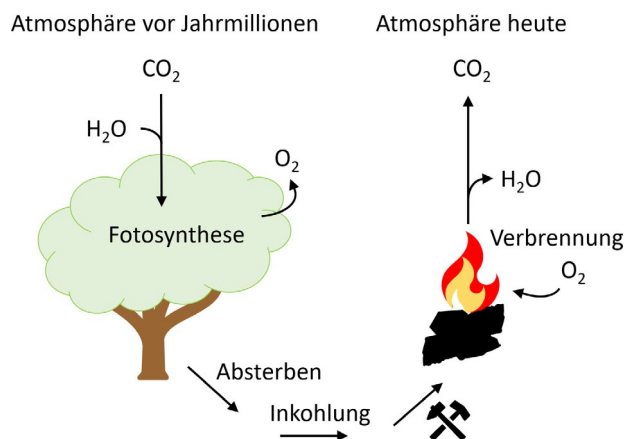
flusst das natürliche Gleichgewicht des Ökosystems [7]. Regenerative Brennstoffe wie Holz setzen bei der Verbrennung nur so viel Kohlenstoffdioxid frei, wie sie der Atmosphäre in den letzten Jahrzehnten bis Jahrhunderten entzogen haben. Im Gegensatz dazu setzen fossile Brennstoffe wie Steinkohle Kohlenstoffdioxid frei, welches vor Jahrmillionen der Atmosphäre entzogen wurde und seitdem gespeichert war. Zusätzlich ist das Vorkommen der fossilen Rohstoffe begrenzt. Der umfassende Vergleich dieser beiden Brennstoffarten umfasst selbstverständlich mehr als das und sollte auch verschiedene Aspekte (Anbau, Transportwege etc.) für eine ausführliche Kohlenstoffdioxid-Bilanz einbeziehen. Im Folgenden werden die Brennstoffe Holz und Steinkohle und deren Beitrag zum Kohlenstoffkreislauf näher betrachtet sowie Lernhürden bei der Erstellung dieser Kreisläufe zusammengetragen.

## 2.1 Schematische Darstellung der Kohlenstoffkreisläufe

Eine vereinfachte Darstellung der Nutzung von Holz zur Energiegewinnung beschreibt den Weg der Kohlenstoffatome durch den Kreislauf, angefangen beim Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre (Abb. 1). Dieses wird von den Blättern des Baums aufgenommen und im Prozess der Fotosynthese zunächst zu Glucose und anschließend zu anderen energiereichen organischen Verbindungen wie bspw. Cellulose umgewandelt. Diese tragen maßgeblich zum Wachstum des Baums bei, welcher etwa 60 bis 300 Jahre wächst, bis er gefällt wird. Nach der Abholzung kann das Holz des Baums in verschiedener Form (Holzscheite, Pellets, Hackschnitzel etc.) zur energie-



**Abb. 1:** Vereinfachte Darstellung der Nutzung von Holz zur Energiegewinnung und des Beitrags zum Kohlenstoffkreislauf. Die Respiration und weitere entstehende Nebenprodukte der Verbrennung werden hier vernachlässigt. Außerdem werden Reaktionsgleichungen nicht integriert, vgl. hierzu Kapitel 2.1 und 2.2.



**Abb. 2:** Vereinfachte Darstellung der Nutzung von Steinkohle zur Energiegewinnung und des Beitrags zum Kohlenstoffkreislauf. Die Respiration und weitere entstehende Nebenprodukte der Verbrennung werden hier vernachlässigt. Außerdem werden Reaktionsgleichungen nicht integriert, vgl. hierzu Kapitel 2.1 und 2.2.

tischen Nutzung verwendet werden. Das bei der Verbrennung freigesetzte Kohlenstoffdioxid wird der Atmosphäre zugeführt und trägt zum Anstieg dieses Treibhausgases bei. Dort steht es erneut der Absorption zur Fotosynthese durch weitere Bäume zur Verfügung.

Im Vergleich dazu wurde der Atmosphäre im Fall der Nutzung von Steinkohle vor Jahrmillionen Kohlenstoffdioxid durch Urwaldbäume und die folgende Inkohlung entzogen. Durch die Verbrennung der Steinkohle wird das Kohlenstoffdioxid der heutigen Atmosphäre in kurzer Zeit zugeführt (Abb. 2). In den Abbildungen 1 und 2 wurde eine möglichst knappe Darstellungsform der Stoffkreisläufe gewählt, die alle treibenden Prozesse für den Kohlenstofffluss nennt, allerdings keine Reaktionsgleichungen integriert. Die Darstellungsform von Kreisläufen allgemein ist mit Problemen behaftet, weil bspw. die Zeiträume der Schritte nicht abgebildet, Pfeile in unterschiedlicher Funktion genutzt und Mengenverhältnisse vernachlässigt werden [8]. Gerade die schwierige Integration von unterschiedlichen Zeitspannen (Entstehungs- und Regenerati-



Christina Krabbe studierte Chemie an der Ruhr-Universität Bochum und nahm im Anschluss das Promotionsstudium an der Technischen Universität Dortmund auf. Dort promovierte sie 2014 im Bereich der anorganischen Chemie. Seit 2015 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin im Arbeitskreis von Prof. Dr. Melle und beschäftigt sich zurzeit mit dem Einsatz von Unterrichtsvideos zur Professionalisierung angehender Chemielehrkräfte hinsichtlich der Gestaltung adaptiver Lernsituationen.



Frederic Thelen, M. Ed., studierte die Fächer Chemie und Informatik für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen an der Technischen Universität Dortmund und schloss dieses 2020 ab. Er fertigte seine Masterarbeit im Arbeitskreis von Prof. Dr. Melle an.



Kathryn Simonds, B. A., studiert die Fächer Chemie und Englisch für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen an der Technischen Universität Dortmund und ist studentische Mitarbeiterin im Arbeitskreis von Prof. Dr. Melle.



Insa Melle ist seit 1999 Inhaberin des Lehrstuhls für Chemie und ihre Didaktik an der Technischen Universität Dortmund. Ihr aktuelles Forschungsinteresse gilt einerseits der Wirkung digitaler Lernumgebungen im Chemieunterricht bzw. in der universitären Chemieausbildung und andererseits der Professionalisierung angehender Lehrkräfte für einen digital gestützten bzw. inklusiven Chemieunterricht sowie zeitgemäßen Konzepten für Lehrerfortbildungen.

onszeit) ist für den Vergleich von Holz und Steinkohle als Brennstoffe anhand einer solchen Kreislaufdarstellung ein Problem.

Diese Überlegungen deuten bereits an, welche Lernhürden diese Thematik beinhaltet. Über die Darstellungsform hinaus sind weitere (Schüler:innen-)Schwierigkeiten bei der Unterrichtsgestaltung zu berücksichtigen.

## 2.2. Lernhürden bei der Erstellung der Kohlenstoffkreisläufe

Hinsichtlich des Verständnisses des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs beschreiben Düsing et al. die Schwierigkeit, dass es sich um ein komplexes Thema handelt, welches das Verständnis von Aspekten aus verschiedenen Bereichen erfordert [9]. Es ist notwendig, einerseits Kohlenstoffflüsse zwischen den Sphären und andererseits Kohlenstoffatome als Teil von Molekülen über Umwandlungsprozesse hinweg (z. B. bei der Photosynthese) zu verfolgen. Düsing et al. beobachten, dass Schüler:innen beim Skizzieren des Prozesses häufig auf der Ebene der Organismen verbleiben, obwohl der Weg von Molekülen über zelluläre Prozesse hin zu der beobachtbaren Ebene des Organismus (bspw. dem Pflanzenwachstum) nachvollzogen werden muss [9]. Dieser Wechsel zwischen den gedanklichen Ebenen bereitet Schüler:innen vielfach Schwierigkeiten [10]. Johnstone hat bereits früh die makroskopische Ebene (das „Greifbare“), die submikroskopische Ebene (der Atome und Moleküle) und die repräsentative Ebene (der Symbole und Formeln) als Mittel zur Beschreibung chemischer Phänomene unterschieden und weist darauf hin, dass der Wechsel zwischen diesen Ebenen Schüler:innen häufig vor Probleme stellt und die Vermischung der Ebenen Ursprung vieler Fehlvorstellungen ist [11].

Marohn und Messing führen verschiedene Schüler:innenvorstellungen aus den Fächern Biologie und Chemie auf eine gemeinsame „Wurzel“ zurück und titeln „Was man nicht sieht, das gibt's auch nicht“ [12]. Dies beschreibt vor allem Schüler:innenvorstellungen im Zusammenhang mit Gasen, welche von Schüler:innen häufig als masselos angesehen und nicht als Reaktionspartner identifiziert werden (u. a. [13,14]). Aber auch Schüler:innenvorstellungen im Bereich der Pflanzenernährung können als eine mögliche Ausprägung dieser gemeinsamen „Wurzel“ betrachtet werden. Bei dem Prozess der Photosynthese ist die Absorption von Kohlenstoffdioxid eine Voraussetzung für die Herstellung energiereicher organischer Verbindungen wie Glucose und Cellulose [12]. In diesem Zusammenhang ist die Vorstellung verbreitet, dass grüne Pflanzen ihre Nahrung allein aus dem Boden, dem Wasser und den Mineralsalzen beziehen und Kohlenstoffdioxid nicht zur Pflanzenmasse beiträgt, weil es ein Gas ist [9].

Bezieht man neben dem natürlichen Kohlenstoffkreislauf auch anthropogene Einflüsse – wie die Nutzung von Holz und Steinkohle zur Energiegewinnung – mit ein, so spielen weitere Umwandlungsprozesse zwischen gasförmigen und festen Kohlenstoffverbindungen eine Rolle. Bei Verbrennungsprozessen werden Gase von Lernenden häufig nicht als Reaktionspartner identifiziert, bzw. es liegt die Vorstellung vor, dass bei der Verbrennung Materie vernichtet wird [13]. In diesem Fall kann der Kreislauf nicht geschlossen werden, weil Kohlenstoffdioxid nicht als Produkt der Reaktion des Brennstoffs mit Sauerstoff erkannt wird. Aber auch wenn dies gelingt, kann es dazu kommen, dass Schüler:innen den Kreislauf nicht schließen, weil das entstandene Kohlenstoffdioxid dem Kreislauf nicht wieder zugeführt wird. Niebert beschreibt, dass die Quelle des Kohlenstoffdioxids eine Rolle spielt [7]. Er identifiziert bei Schüler:innen die Unterscheidung zwischen natürlichem und künstlichem bzw. pflanzennahem und pflanzenfernem Kohlenstoffdioxid. Die Quelle entscheidet somit in den Vorstellungen der Schüler:innen welche molekularen/strukturalen

Eigenschaften damit verbunden sind und welchem Prozess und Organismus es zur Verfügung steht. Eine Ausprägung der ersten Denkfigur von Lernenden ist, dass bei der Verbrennung von fossilen Rohstoffen künstliches Kohlenstoffdioxid entsteht, welches von Pflanzen für die Photosynthese nicht aufgenommen werden kann, weil dies ein natürlicher Prozess ist. Somit kommt es zur Anreicherung des künstlichen Kohlenstoffdioxids in der Atmosphäre und es entsteht eine „Einbahnstraße“ und kein Kreislauf. Zusätzlich beschreibt Niebert die Vorstellung der Lernenden, dass bei der Verbrennung von Holz kein Kohlenstoffdioxid entsteht, da es kein fossiler Brennstoff ist [7].

## 3. Analyse der Lernhürden mithilfe von Unterrichtsvideos

Um Lehramtsstudierende für die Analyse von (fachlichen) Hürden oder auch Schwierigkeiten zu sensibilisieren, bietet der Einsatz von Unterrichtsvideos verschiedene Vorteile. Zum einen ermöglichen sie eine Annäherung an reales Unterrichtsgeschehen, was gerade für angehende Lehrkräfte mit wenig Unterrichtspraxis hilfreich ist, sowie eine genaue Analyse der Lehr-/Lernsituation inklusive der Lernstrategie und -prozesse u. a. durch die Möglichkeit der mehrfachen Betrachtung [15,16]. Zum anderen ermöglichen Videos im Gegensatz zu realen Unterrichtssituationen eine Beobachtung ohne Handlungsdruck [4]. Durch den Fokus auf einzelne Schüler:innen kann die Komplexität des Geschehens reduziert und die Wahrnehmung auf die Lernprozesse einzelner fokussiert werden [17,18].

Die im Folgenden betrachteten Unterrichtsvideos wurden für die Analyse von Lernhürden bei der Erstellung von Kohlenstoffkreisläufen der Nutzung von Holz und Steinkohle zur Energiegewinnung eingesetzt. Dabei stand die Forschungsfrage „Welche (Schüler:innen-)Schwierigkeiten identifizieren die Studierenden mithilfe der Analyse der erstellten Unterrichtsvideos?“ im Mittelpunkt. Die Entwicklung und der Einsatz der Unterrichtsvideos werden im Folgenden beschrieben sowie Beispiele für dort beobachtbare Lernhürden genannt.

### 3.1 Entwicklung und Einsatz der Unterrichtsvideos

Das Videomaterial wurde in der Schule erhoben und für den Einsatz in der Lehrveranstaltung weiterverarbeitet [19]. Dafür wurden die Schüler:innen bei der Bearbeitung einer Lernumgebung zum Kohlenstoffkreislauf und zur energetischen Nutzung von Holz und Steinkohle videografiert. Basierend auf Informationstexten und Tippkarten wurden Aufgaben zur Erstellung des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs und zu den anthropogenen Einflüssen gestellt. Die für die Erhebung der Videos fokussierte Aufgabe lautete: Erstellt auf dem iPad jeweils ein Schaubild zum Kohlenstoffkreislauf von a) Holz als Brennstoff und b) Steinkohle als Brennstoff. Es wurde offen gelassen, in welcher Weise die Schüler:innen den Kreislauf erstellen sollten (auf Basis von Texten und/oder Skizzen). Zusätzlich zum Kamerabild wurde die Aufgabenbearbeitung über die Bildschirmaufnahme der genutzten iPads aufgezeichnet. Für die in der Lehrveranstaltung eingesetzten Unterrichtsvideos wurden passende Szenen ausgewählt, der iPad-Bildschirm wurde dem Kamerabild im Bild-in-Bild-Modus zugefügt und das Video wurde mit Untertiteln versehen. Auf diese Weise sind drei Unterrichtsvideos entstanden, die in der Veranstaltung mit dem zugehörigen Begleitmaterial (Transkript, Arbeitsergebnisse der Schüler:innen) eingesetzt wurden. Diese zeigen unterschiedliche Zweiergruppen von Schüler:innen mit Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der oben genannten Aufgabe.

Die drei Unterrichtsvideos werden von den Studierenden aufgabengeleitet in drei Phasen analysiert, mit dem Ziel, (Schüler:innen-)Schwierigkeiten bzw. Lernhürden bei der Aufgabebearbeitung zu identifizieren (Phase 1: Erkennen/Benennen und Phase 2: Bewerten) und Möglichkeiten zu entwickeln, diesen Schwierigkeiten im Unterricht zu begegnen (Phase 3: Generieren). Weitere Details werden in [6] beschrieben. Die Ergebnisse der Studierenden werden über ein Online-Tool (Padlet) zusammengetragen, gegenseitig kommentiert und anschließend diskutiert. Aus der Literatur bekannte Lernhürden zum Thema werden im Anschluss von den Lehrenden vorgestellt und als mögliche Ursache für die beobachteten Schwierigkeiten diskutiert. Zum Abschluss werden die Unterrichtsmaterialien auf der Grundlage der identifizierten Lernhürden überarbeitet.

### 3.2 Beispiele für Lernhürden in den Unterrichtsvideos

Die Darstellungen der Kreisläufe der Schüler:innen verbleiben häufig auf der makroskopischen Ebene (Abb. 3), und auch wenn teilweise die Fotosynthese als Umwandlungsprozess beschrieben wird, verliert sich der Weg des Kohlenstoffatoms bzw. der Kohlenstoffatome oft bei der Verbrennung der Rohstoffe. Diese Beobachtungen lassen u. a. vermuten, dass den Schüler:innen der Wechsel auf die submikroskopische Ebene, bzw. die Darstellung auf der repräsentativen Ebene schwerfällt.



Abb. 3: Beispielhafte Darstellung eines Arbeitsergebnisses I.

In einem der Unterrichtsvideos sagt eine Schülerin/ein Schüler: „Das verbrannte Holz betreibt ja keine Fotosynthese mehr“, die Skizze der Zweiergruppe endet in der Darstellung eines Fließschemas (Abb. 4). Ausgehend von einem Baum ist die getätigte Aussage richtig, allerdings steht der Baum in der Darstellung des Kreislaufs symbolisch für viele Bäume, die nicht alle zeitgleich gefällt werden. Für den Fortbestand des Kreislaufs ist es erforderlich, dass neue Bäume gepflanzt werden. Der Kreislaufgedanke allerdings wird erst durch die Betrachtung auf molekularer bzw. atomarer Ebene deutlich, wenn der Kohlenstoff über Umwandlungsprozesse hinweg verfolgt und als Quelle für das Wachstum anderer Bäume identifiziert wird.

In der Aufgabenstellung wurde wie bereits erwähnt keine Einschränkung gemacht, auf welche Weise die Schüler:innen den

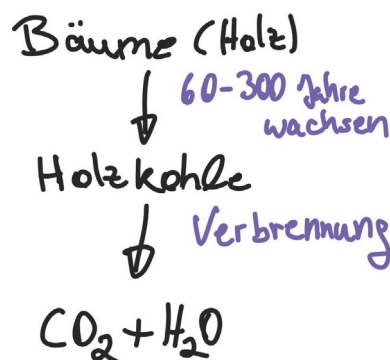


Abb. 4: Beispielhafte Darstellung eines Arbeitsergebnisses II.

Kreislauf erstellen sollten. Dementsprechend geschah dies sowohl in Textform (Abb. 4) als auch auf Grundlage von Zeichnungen der beteiligten Schritte/Organismen (Abb. 3). Die Bearbeitung über das iPad führte bei einigen Gruppen dazu, dass die Zeichnungen perfektioniert wurden, anstatt sich auf die inhaltlichen Aspekte der Aufgabe zu konzentrieren. Dies zeigt auch eines der drei Unterrichtsvideos. Die Ursachen dafür können vielfältig sein und bleiben hier zunächst Spekulation. Zusätzlich offenbaren die Unterrichtsvideos, dass den Schüler:innen Begriffe wie Torf oder der Unterschied zwischen Holz und Holzkohle unklar sind und eröffnen so Möglichkeiten für weitere Tippkarten oder eine Überarbeitung der Informationstexte.

### 3.3 Evaluation und Ergebnisse der Videoanalyse

Die von den Studierenden ( $N=37$ , SoSe 2020 bis WiSe 2021/22) über die Padlets zusammengetragenen Ergebnisse wurden mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [20] ausgewertet. Da von den vier Kohorten jeweils drei Videos analysiert wurden, lagen für die Auswertung zwölf Padlets vor. Diese bilden die Gesamtheit aller identifizierten Lernhürden aus den drei eingesetzten Unterrichtsvideos. Die identifizierten Schwierigkeiten wurden zusammengefasst und drei induktiv gebildeten Kategorien zugeordnet. Zum Beispiel wurde der Eintrag „Unklar, was Torf, Steinkohle etc. ist“ der Unterkategorie „Fehlendes Verständnis von Fachbegriffen“ und somit der Kategorie „Inhalte allgemein“ und der Eintrag „Wie wächst ein Baum – Verbleib Kohlenstoff im Baum unklar“ der Unterkategorie „Fehlende Integration der Form/Verbindung der Kohlenstoffspeicherung“ und somit der Kategorie „Submikroskopische Ebene“ zugeordnet.

#### 3.3.1 Inhalte allgemein

- Lückenhafte Übertragung der Informationen aus dem eingesetzten Text auf die Darstellung des Kreislaufs (2 von 4 Kohorten)
- Mangelndes Verständnis des (Kohlenstoff-)Kreislaufgedankens (4 von 4 Kohorten)
- Fehlendes Verständnis von Fachbegriffen (4 von 4 Kohorten)
- Mangelnde Verknüpfung von Vorwissen mit neuem Wissen (1 von 4 Kohorten)
- Keine Berücksichtigung der Zeitspannen (Regenerations- und Entstehungszeit) (3 von 4 Kohorten)

#### 3.3.2 Submikroskopische Ebene

- Fehlende Integration der Form/Verbindung der Kohlenstoffspeicherung (bspw. im Holz in Form von Glucose) (4 von 4 Kohorten)
- Keine Berücksichtigung der chemischen Reaktionen und der Umwandlungsprozesse (Fotosynthese, Verbrennung) (4 von 4 Kohorten)

### 3.3.3 Arbeitsverhalten

- Mangelnde Fokussierung auf den Arbeitsauftrag/das Zeitmanagement (4 von 4 Kohorten)
- Keine gleichmäßige Verteilung der Aufgaben innerhalb einer Gruppe (2 von 4 Kohorten)
- Ablenkung durch das iPad (2 von 4 Kohorten)

## 4. Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Die Studierenden sind mithilfe der entwickelten Unterrichtsvideos in der Lage, zahlreiche Lernhürden bei der Erstellung von Kohlenstoffkreisläufen der energetischen Nutzung von Holz und Steinkohle zu identifizieren. Diese lassen sich in die drei Kategorien „Inhalte allgemein“, „Submikroskopische Ebene“ und „Arbeitsverhalten“ unterteilen und zeigen sowohl das Auftreten von aus der Literatur bekannten Schwierigkeiten als auch Verbesserungspotenzial in der Unterrichtsplanung, wenn bspw. fehlendes Verständnis von Fachbegriffen anhand der Videos identifiziert wurde. Beides kann in der anschließenden Adaption der Unterrichtsplanung genutzt werden, um auf dieser Grundlage die Materialien zu überarbeiten, bspw. kann das Verständnis von Fachbegriffen durch die Überarbeitung des Informationstexts oder die Ergänzung eines Glossars unterstützt werden.

Die Unterrichtsvideos und die Arbeitsergebnisse der Schüler:innen bieten einen Einblick in das reale Unterrichtsgeschehen und einen authentischen Anlass sich mit Lernhürden zu befassen. Da sich anhand der entwickelten Unterrichtsvideos nur bestimmte Lernhürden beobachten lassen, wurde der Abgleich mit aus der Literatur bekannten Schwierigkeiten bezüglich dieser Thematik (vgl. Kap. 2) in die Veranstaltungskonzeption aufgenommen. Die Diskussion über mögliche Ursachen und die Auseinandersetzung mit Lernhürden und Stolpersteinen kann so vertieft werden. Für die Analyse der Lernsituation haben sich der genutzte Bild-in-Bild-Modus sowie die Untertitel als hilfreich erwiesen. Die Unterrichtsvideos liefern allerdings kein vollständiges „Bild“ des Unterrichts und/oder der Schüler:innen. Eine umfassende Analyse der individuellen Lernvoraussetzungen erfordert weitere Diagnostik, und auch die Suche nach Ursachen für die beobachteten Schwierigkeiten anhand der Unterrichtsvideos mündet teilweise in Spekulation. Um weitere Einblicke in die kognitiven Prozesse der Schüler:innen zu bekommen, könnte die Methode des *Simulated Recall* genutzt werden [21]. Hierbei werden die Schüler:innen mit dem Videomaterial konfrontiert und gebeten ihre Gedanken/Entscheidungen zu erläutern. Das so gewonnene Material würde eine sinnvolle Ergänzung der Begleitmaterialien ergeben.

## Danksagung

Wir danken allen Mitwirkenden, also den Studierenden, der Schulleitung, der Lehrkraft sowie den Schüler:innen für die Unterstützung dieses Vorhabens. Open Access Veröffentlichung ermöglicht und organisiert durch Projekt DEAL.

## Förderhinweis

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1930 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen.

## Literatur

- [1] Vogt, F., Rogalla, M. (2009). Developing Adaptive Teaching Competency through coaching. *Teaching and Teacher Education* 25/8, 1051–1060.
- [2] Wember, F. B., Melle, I. (2018). Adaptive Lernsituationen im inklusiven Unterricht: Planung und Analyse von Unterricht auf Basis des Universal Design for Learning. In: *DoProfiL – Das Dortmunder Profil für inklusionsorientierte Lehrerinnen- und Lehrerbildung*. Hußmann, S., Welzel, B. (Hrsg.). Waxmann, Münster, 57–72.
- [3] Meister, S., Nitz, S., Schwanewedel, J., Upmeyer zu Belzen, A. (2020). Diagnostische Fähigkeiten Lehramtsstudierender – Förderung mit Videovignetten und Anwendung im Lehr-Lern-Labor. In: *Lehr-Lern-Labore*. Priemer, B., Roth, J. (Hrsg.). Springer Berlin Heidelberg, 223–247.
- [4] Krammer, K., Reusser, K. (2005). Unterrichtsvideos als Medium der Aus- und Weiterbildung von Lehrpersonen. *Beiträge zur Lehrerbildung* 23/1, 35–50.
- [5] Baumann, T., Kieserling, M., Struckholt, S., Melle, I. (2018). Verbrennungen – Eine Unterrichtseinheit für inklusiven Unterricht. *CHEMKON* 25/4, 160–170.
- [6] Krabbe, C., Melle, I. (2021). Videovignetten zur Professionalisierung angehender Chemielehrkräfte für die Gestaltung adaptiver Lernsituationen. In: *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Habig, S. (Hrsg.). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Essen, 505–508.*
- [7] Niebert, K. (2010). Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung, 1. Aufl. Didaktisches Zentrum, Oldenburg.
- [8] Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., Wood-Robinson, V. (Hrsg.) (2004). *Making Sense of Secondary Science: Research into children's ideas. Support Materials for Teachers*. Routledge, London.
- [9] Dising, K., Asshoff, R., Hammann, M. (2019). Students' conceptions of the carbon cycle: identifying and interrelating components of the carbon cycle and tracing carbon atoms across the levels of biological organisation. *Journal of Biological Education* 53/1, 110–125.
- [10] Gilbert, E. J. K., Gilbert, J. K., Treagust, D. (2009). Multiple Representations in Chemical Education. Springer Netherlands, Dordrecht.
- [11] Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry – logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* 1/1, 9–15.
- [12] Marohn, A., Messig, D. (2021). „Was man nicht sieht, das gibt's auch nicht“. Gemeinsame „Wurzeln“ von Lernhürden im Biologie- und Chemieunterricht. *MNU-Journal* 1, 15–19.
- [13] Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A., Krees, S. (2015). *Chemiedidaktik kompakt*. Springer Berlin Heidelberg.
- [14] Marohn, A. (2008). „Choice2learn“ – eine Konzeption zur Exploration und Veränderung von Lernvorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 14, 57–83.
- [15] Aufschnaiter, C., von Münster, C., Beretz, A.-K. (2018). Zielgerichtet und differenziert diagnostizieren. *MNU-Journal* 71/6, 382–386.
- [16] Seidel, T., Thiel, F. (2017). Standards und Trends der videobasierenden Lehr-Lernforschung. *Z. Erziehungswiss.* 20/S1, 1–21.
- [17] Aufschnaiter, C., von Rogge, C. (2010). Misconceptions or Missing Conceptions? *Eurasia J. Math. Sci. T.* 6/1, 3–18.
- [18] Dannemann, S., Heeg, J., Schanze, S. (2019). Fallbasierte Förderung der Diagnose- und Planungsfähigkeiten von Lehramtsstudierenden. Lernen mit Videovignetten in der Biologie- und Chemiedidaktik. In: *Fachdidaktische Forschung zur Lehrerbildung*. Leuders, T., Christophel, E., Hemmer, M., Korneck, F., Labudde, P. (Hrsg.). Waxmann, Münster, 75–85.
- [19] Thelen, F. (2020). Entwicklung von Unterrichtsvignetten für die Chemielehrausbildung. Das Thema Stoffkreisläufe in der Sekundarstufe I. Masterarbeit. Technische Universität Dortmund, Dortmund.
- [20] Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*, 12. Aufl. Beltz, Weinheim.
- [21] Lyle, J. (2003). Stimulated recall: a report on its use in naturalistic research. *British Educational Research Journal* 29/6, 861–878.

Eingegangen am 14. Januar 2022

Angenommen am 16. März 2022