

**Zoom Map –  
Entwicklung und Evaluation  
eines grafischen Lernwerkzeugs zum  
Verstehen biologischer Phänomene durch  
Einbindung biologischer  
Organisationsebenen**

Von der Naturwissenschaftlichen Fakultät der  
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
zur Erlangung des Grades  
Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)  
genehmigte Dissertation  
von

Niklas Schneeweiß, M. Ed.

2022

**Referent:** Prof. Dr. rer. nat. Harald Gropengießer  
**Koreferent:** Prof. Dr. rer. nat. Sascha Schanze  
**Tag der Promotion:** 08.07.2022

Vermutlich haben Sie plötzlich ungewöhnlich viel Zeit, da Sie nicht zur Arbeit gehen oder gewohnten Freizeitbeschäftigungen nachgehen können. [...]

Überlegen Sie, wie Sie die Zeit füllen können.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe:  
Tipps bei häuslicher Quarantäne



## Kurze Zusammenfassung

Ein zentrales Ziel des Biologieunterrichts sollte es sein, Lernende dazu zu befähigen, die (biologische) Welt erklären zu können. Biologische Phänomene sind jedoch hoch komplex, da sie zumeist durch miteinander vernetzte Prozesse erklärt werden müssen, welche sich häufig über mehrere der biologischen Organisationsebenen hinweg erstrecken. Aus einer Vermittlungsperspektive kommt erschwerend hinzu, dass sich ein Großteil der Organisationsebenen (zum Beispiel die Ebene der Moleküle und Zellen) unserer direkten Wahrnehmung entziehen.

So zeigt sich in vielen Studien, dass Lernende bei der Erklärung komplexer biologischer Phänomene Schwierigkeiten haben, die mit einem fehlenden Verständnis der Organisationsebenen zusammenhängen.

Daher werden Lernstrategien und Methoden vorgeschlagen, die die Organisationsebenen im Unterricht einbinden. Beispiele sind hierfür das Jo-Jo-Lernen und das Verfolgen von Atomen. Dennoch müssen Lernende explizit dazu angeregt werden, die Organisationsebenen zu vernetzen und zu reflektieren.

Bisher gab es noch kein grafisches Lernwerkzeug, welches Lernende zur Reflexion und Vernetzung der Organisationsebenen anleitet. Daher wurde in der vorliegenden Dissertation ein neues grafisches Lernwerkzeug entwickelt und evaluiert.

Zunächst wurde anhand einer systematischen Literaturanalyse das Konzept der Organisationsebenen untersucht (PUBLIKATION 2). Darauf aufbauend wurde die Zoom Map als neues Lernwerkzeug entwickelt (PUBLIKATION 3). Zur Evaluation wurden Vermittlungsversuche mit dreizehn Schüler\*innen durchgeführt und aufgezeichnet. Die Transkripte der Vermittlungsversuche dienen zusammen mit den von den Lernenden erstellten Zoom Maps als Daten für die qualitativ-inhaltsanalytische Auswertung (PUBLIKATION 4 und 5).

Im Rahmen der Literaturanalyse in PUBLIKATION 2 konnten wir herausarbeiten, dass Autor\*innen je nach Fachgebiet unterschiedliche Organisationsebenen nennen. Auf Basis der analysierten Literatur wurde zudem ein System der Organisationsebenen für die Vermittlung aufgestellt.

In PUBLIKATION 3 wurde die Zoom Map als neues grafisches Lernwerkzeug vorgestellt. Dieser vereint die Vorteile von Concept Maps mit der expliziten Darstellung von Organisationsebenen durch die Metapher des Zoomens.

Die Evaluation der Zoom Map in PUBLIKATION 4 und PUBLIKATION 5 zeigte, dass das Lernwerkzeug Zoom Map Lernende unterstützen kann und sie dazu anleitet, in ihren Erklärungen Organisationsebenen zu berücksichtigen.

Insbesondere zeigte sich, dass Lernende nach der Vermittlung mit der Zoom Map in ihren Erklärungen mehr Organisationsebenen ansprechen. Zusätzlich wechselten sie in ihren Erklärungen nach der Vermittlung die Ebenen nach oben oder unten, während sie zu Beginn häufig nur auf einer Ebene erklären.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wurden darüber hinaus zwei unterrichtspraktische Artikel veröffentlicht. Dabei wird in PUBLIKATION 1 der Einsatz von Concept Mapping unter dem Einsatz von CmapTools vorgestellt. Eine unterrichtliche Einbettung der Zoom Map wird zudem in PUBLIKATION 6 dargelegt.

**Schlagerworte:** *Biologieunterricht, Erklärungen, Organisationsebenen, Lernwerkzeuge, Concept Maps*

## Abstract

Enable learners to explain the (biological) world is one major goal of biology education. However, biological phenomena are highly complex, as they usually have to be explained by interconnected processes that often span several of the biological levels of organization. From the teaching perspective, this is further complicated by the fact that many of the levels of organization (for example, the level of molecules and cells) are beyond our direct perception. Thus, it is evident across many studies that explaining complex biological phenomena is difficult for learners due to a lack of understanding of the levels of organization.

Therefore, learning strategies and methods that incorporate levels of organization in the classroom are proposed. Examples include yo-yo learning and tracing atoms. Nevertheless, learners need to be explicitly encouraged to connect and reflect on the levels of organization. To date, there has been no graphic organizer that guides learners to reflect on and connect levels of organization. Therefore, this dissertation developed and evaluated a new graphic organizer.

First, a systematic literature review was used to examine the concept of organizational levels (PUBLICATION 2). Based on this, the Zoom Map was developed as a new learning tool (PUBLICATION 3). For evaluation purposes, teaching experiments were conducted and audio recorded. The transcripts of the teaching experiments, together with the Zoom Maps created by the learners, served as data for the qualitative content analysis evaluation (PUBLICATION 4 and 5).

Within the framework of the literature analysis in PUBLICATION 2, we found that authors mention different levels of organization depending on the subject area. Based on the analyzed literature, we also established a system of organizational levels for teaching.

In PUBLICATION 3, the Zoom Map was introduced as a new graphic organizer. It combines the advantages of concept maps with the explicit representation of organizational levels through the metaphor of zooming.

Evaluation of the Zoom Map in PUBLICATION 4 and PUBLICATION 5 showed that the Zoom Map can support learners and guide them to consider levels of organization in their explanations.

Specifically, it showed that learners addressed more levels of organization in their explanations after being taught with the Zoom Map. In addition, they switched levels up or down in their explanations after teaching, whereas they often explained at only one level at the beginning.

Based on the findings, two instructional practice articles were also published. Thereby, PUBLICATION 1 presents the use of concept mapping under the use of CmapTools. A teaching embedding of the Zoom Map is also presented in PUBLICATION 6.

**Keywords:** *biology education, explanations, levels of organisation, graphic organizer, concept maps*



### Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mich in den letzten Jahren unterstützt und somit auf die eine oder andere Art zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zuerst möchte ich meinem Doktorvater Prof. Harald Gropengießer danken. Sein Zuspruch nach meiner Masterarbeit hat mich motiviert, mich im Anschluss an meinen Abschluss auf eine Promotionsstelle zu bewerben. Ich erinnere mich gerne an die gemeinsamen Diskussionen mit Theresa - egal ob im Büro, bei Haselnüssen und Blick auf die Weser oder telefonisch.

Danke an meinen Zweitbetreuer Prof. Sascha Schanze, dem ich meine erste Stelle als wissenschaftliche Hilfskraft verdanke. Durch den Einblick in den Alltag am Institut wurde mein Interesse an naturwissenschaftsdidaktischer Forschung geweckt. Für die Unterstützung bei der Promotion sowie die Zusammenarbeit in und an anderen (Digitalisierungs-) Projekten bin ich dankbar.

Mein Dank gilt auch allen Mitgliedern des Instituts für Didaktik der Naturwissenschaften und insbesondere dem Nachwuchsnetzwerk. Die intensiven und kritisch-konstruktiven Diskussionen über unsere Projekte haben mich auf vielen *Ebenen* weitergebracht. Vor allem habe ich aber die kleinen Gespräche in der Mensa, Pausen in der Sonne und die Feierabendbeschäftigungen genossen. Hier muss ich vor allem Bernd und Frank hervorheben. Ohne die beiden wäre die Arbeit schneller fertig geworden!

Ich danke allen Schüler\*innen, die sich nach ihrem Unterricht für mich und mein Projekt Zeit genommen haben. Ohne ihre Bereitschaft wäre mein Projekt nicht möglich gewesen. Dabei haben auch diejenigen Lehrkräfte unterstützt, die in ihrem Unterricht für das Projekt geworben haben.

Zuletzt danke ich meiner Familie, meinen Freunden und Maren für ihre Unterstützung und Verständnis, wenn ich mal wieder früher gegangen oder später gekommen bin, weil ich noch etwas schreiben musste.

# Inhaltsverzeichnis

ZITAT	I
KURZE ZUSAMMENFASSUNG	II
ABSTRACT	III
DANKSAGUNG	IV
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	7
TABELLENVERZEICHNIS	8
VERZEICHNIS DER BOXEN	9
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>10</b>
<b>2. STAND DER FORSCHUNG</b>	<b>13</b>
2.1 PERSPEKTIVE DER LERNENDEN	14
2.2 FACHLICHE PERSPEKTIVE	17
2.3 FACHDIDAKTISCHE PERSPEKTIVE	21
2.4 ZUSAMMENFASSUNG DES STANDS DER FORSCHUNG	25
<b>3. THEORETISCHER HINTERGRUND</b>	<b>26</b>
<b>4. FRAGESTELLUNGEN</b>	<b>28</b>
4.1 FORSCHUNGSFRAGEN	28
4.2 FRAGESTELLUNGEN DER PUBLIKATIONEN UND EINORDNUNG IN DAS DISSERTATIONSVORHABEN	29
<b>5. METHODEN</b>	<b>32</b>
5.1 STUDIENDESIGN UND STICHPROBE	32
5.2 DATENERHEBUNG	32
5.3 DATENAUSWERTUNG	34
<b>6. ERGEBNISSE UND DISKUSSION</b>	<b>35</b>
6.1 PUBLIKATION 1: CONCEPT MAPPING MIT CMAPTOOLS	35
6.2 PUBLIKATION 2: LITERATURANALYSE ZU DEN ORGANISATIONSEBENEN	35
6.3 PUBLIKATION 3: ENTWICKLUNG DER ZOOM MAP	38
6.4 PUBLIKATION 4: EVALUATION DER ZOOM MAP IN VERMITTLUNGSVERSUCHEN	39
6.5 PUBLIKATION 5: BIOLOGISCHE KOMPLEXITÄT UND DIE ZOOM MAP	41
6.6 PUBLIKATION 6: PRAXISARTIKEL ZUM EINSATZ DER ZOOM MAP	42
<b>7. FAZIT</b>	<b>43</b>
7.1 AUSGANGSLAGE	43
7.2 EINORDNUNG DES DISSERTATIONSVORHABENS	43
7.3 BEITRÄGE DER PUBLIKATIONEN ZUM DISSERTATIONSVORHABEN	44
7.4 EINORDNUNG ZENTRALER ERGEBNISSE DER PUBLIKATIONEN	44
<b>8. IMPLIKATIONEN UND AUSBLICK</b>	<b>47</b>
8.1 PERSPEKTIVE DER FORSCHUNG	47
8.2 PERSPEKTIVE DES BIOLOGIEUNTERRICHTS	49



**9. LITERATURVERZEICHNIS ..... 54**

**10. ANHANG..... 66**

10.1 PUBLIKATION 1: CONCEPT MAPPING MIT CMAPTOOLS ..... 67

10.2 PUBLIKATION 2: LITERATURANALYSE ZU DEN ORGANISATIONSEBENEN ..... 77

10.3 PUBLIKATION 3: ENTWICKLUNG DER ZOOM MAP ..... 100

10.4 PUBLIKATION 4: EVALUATION DER ZOOM MAP IN VERMITTLUNGSVERSUCHEN ..... 112

10.5 PUBLIKATION 5: DIE ZOOM MAP UND KOMPLEXITÄT ..... 134

10.6 PUBLIKATION 6: PRAXISARTIKEL ZUM EINSATZ DER ZOOM MAP..... 157

10.7 LEBENS LAUF UND PUBLIKATIONS LISTE ..... 180



## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: BIOLOGISCHE ORGANISATIONSEBENEN IM EINFÜHRUNGSKAPITEL EINE LEHRBUCHS (CAMPBELL ET AL., 2008, P. 6F). ABGEBILDET WERDEN DIE ORGANISATIONSEBENEN BIOSPHÄRE, ÖKOSYSTEM, LEBENSGEMEINSCHAFT, POPULATION, INDIVIDUUM, ORGANE UND ORGANSYSTEME, GEWEBE, ZELLEN, ORGANELLEN UND MOLEKÜL (VON LINKS OBEN NACH RECHTS UNTEN).....	18
ABBILDUNG 2: ABSTRAKTE, HIERARCHISCHE DARSTELLUNGEN DER ORGANISATIONSEBENEN. LINKS: ODUM AND BARRET (2005, P. 1), RECHTS: ROWE (1961, P. 422).....	18
ABBILDUNG 3: VERGLEICH VON EBENEN IN VERSCHIEDENEN WISSENSCHAFTLICHEN DISZIPLINEN .....	20
ABBILDUNG 4: ADVANCE ORGANIZER FÜR MOLEKULARE MECHANISTISCHE ERKLÄRUNGEN AUF VERSCHIEDENEN ORGANISATIONSEBENEN (VAN MIL ET AL., 2016, P. 524) .....	23
ABBILDUNG 5: SELBSTREFERENTIELLE CONCEPT MAP ÜBER CONCEPT MAPS .....	24
ABBILDUNG 6: ERKLÄRUNGSKONSTRUKTION DURCH INTERAKTION (PFEILE) MIT DEN DREI INSTANZEN REFERENZOBJEKT, PERSONEN UND DEM KOGNITIVEN SYSTEM .....	26
ABBILDUNG 7: BEITRÄGE DER PUBLIKATIONEN 1 - 6 ZUR FORSCHUNGSFRAGE .....	28
ABBILDUNG 8: FLUSSSCHEMA DER RECHERCHE- UND AUSWAHLPROZESSE (SCHNEEWEIB & GROPEGIEßER, 2019, P. 3) .....	32
ABBILDUNG 9: DAS STUDIENDESIGN VON PUBLIKATION 3 - 5 ENTSPRICHT DEM EINES VERMITTLUNGSVERSUCHS .....	33
ABBILDUNG 10: VORGEHEN ZUR DATENANALYSE ANHAND DER QUALITATIVEN INHALTSANALYSE NACH (KUCKARTZ, 2010),EIGENE DARSTELLUNG BASIEREND AUF BORN (2007, P. 137).....	34
ABBILDUNG 11: SYSTEM VON NACH BEZIEHUNGEN GEORDNETEN ORGANISATIONSEBENEN FÜR BILDUNGSZWECKE AUF DER GRUNDLAGE VON MACMAHON ET AL. (1978). DAS SYSTEM MACHT DIE BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DEN EBENEN EXPLIZIT UND BEINHÄLTET DIE IDEE DES HERANZOOMENS. DURCH DIE UNTERSCHIEDUNG DER BEZIEHUNGEN WIRD DEUTLICH, WELCHE EBENEN FÜR WELCHES PHÄNOMEN GEEIGNET SIND (SCHNEEWEIB & GROPEGIEßER, 2019, P. 14). .....	37
ABBILDUNG 12: ALLGEMEINE DARSTELLUNG DES FUNKTIONSPRINZIPS EINER ZOOM MAP. DARGESTELLT WERDEN ZWEI EBENEN, EBENE N UND DIE DARUNTER LIEGENDE EBENE N-1 (SCHNEEWEIB & GROPEGIEßER, 2021, P. 6).....	38
ABBILDUNG 13: ANZAHL DER LERNENDEN, DIE DIE JEWEILIGE EBENE IN IHRE ANFANGSERKLÄRUNG (E1) ODER DER FINALEN ERKLÄRUNG (E2) NUTZTEN .....	40
ABBILDUNG 14: DER EBENENWECHSEL KANN IN DER ZOOM MAP PRINZIPIELL AUF VERSCHIEDENE ARTEN DARGESTELLT WERDEN. ROTE PFEILE STELLEN MÖGLICHE HORIZONTALE UND VERTIKALE VERNETZUNGEN DAR. ....	41



## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: FACHDIDAKTISCHE ERKENNTNISSE ZU SCHWIERIGKEITEN VON SCHÜLER*INNEN IM UMGANG MIT ORGANISATIONSEBENEN; ERGÄNZT NACH JÖRDENS ET AL. (2016) .....	14
TABELLE 2: KRITERIEN ZUR FÖRDERUNG DER SYSTEMKOMPETENZ NACH VERHOEFF ET AL. (2008) UND JÖRDENS ET AL. (2016, P. 961), MIT EIGENEN ERLÄUTERUNGEN .....	21
TABELLE 3: ÜBERSICHT ÜBER DIE FRAGESTELLUNGEN UND ZIELE DER PUBLIKATIONEN 1 - 6..... <b>FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.</b>	
TABELLE 4: EBENENWECHSEL IN DEN ERKLÄRUNGEN DER LERNENDEN OHNE ZOOM MAP (E1) UND NACH VERMITTLUNG UNTER EINSATZ DER ZOOM MAP (E2), (O: ONE LEVEL ONLY, D: DOWNWARDS, U: UPWARDS, D-U: DOWNWARDS-UPWARDS, U-D: UPWARDS-DOWNWARDS).....	42
TABELLE 5: EXEMPLARISCHE UNTERRICHTSEINHEIT .....	51
TABELLE 6: VERLAUFSPLAN DER ERSTEN DOPPELSTUNDE (IMPULSE DER LEHRKRAFT SIND UNTERSTRICHEN, ANTIZIPIERTE ANTWORTEN DER LERNENDEN SIND KURSIV.) .....	52



## Verzeichnis der Boxen

BOX 1: ANGABEN ZU DEN ZUGRUNDELIEGENDEN PUBLIKATIONEN .....	11
BOX 2: ZUSAMMENFASSUNG DER ZENTRALEN ERKENNTNISSE DER LITERATUR .....	25
BOX 3: ZUSAMMENFASSUNG OFFENER FORSCHUNGSFRAGEN .....	25
BOX 4: ÜBERSICHT ÜBER DIE FRAGESTELLUNGEN DER PUBLIKATIONEN 1-6 .....	31
BOX 5: ANGABEN ZU DEN ZUGRUNDELIEGENDEN PUBLIKATIONEN .....	66
BOX 6: LITERATURANGABEN VON PUBLIKATION 1 – CONCEPT MAPPING .....	67
BOX 7: LITERATURANGABEN VON PUBLIKATION 2 - LITERATURANALYSE.....	77
BOX 8: LITERATURANGABEN VON PUBLIKATION 3 – ENTWICKLUNG DER ZOOM MAP .....	100
BOX 9: LITERATURANGABEN VON PUBLIKATION 4 – EVALUATION DER ZOOM MAP.....	112
BOX 10: LITERATURANGABEN VON PUBLIKATION 5 – KOMPLEXITÄT .....	134
BOX 11: LITERATURANGABEN VON PUBLIKATION 6 - PRAXISARTIKEL.....	157
BOX 12: ANGABEN ZUR PERSON.....	180
BOX 13: BILDUNGSGANG .....	180
BOX 14: BERUFLICHER WERDEGANG .....	180
BOX 15: ARTIKEL MIT PEER REVIEW .....	181
BOX 16: BUCHKAPITEL UND ANDERE PUBLIKATIONEN .....	181
BOX 17: KONFERENZBEITRÄGE .....	182

# 1.

# Einleitung



*„Die meisten Probleme, mit denen die Menschheit konfrontiert ist, haben mit unserer Unfähigkeit zu tun, die immer komplexeren Systeme unserer Welt zu verstehen und zu steuern.“  
Senge (1990, p. 14, übersetzt)*

Die Menschheit steht vor einer Reihe komplexer Probleme, sei es die Klimakrise oder das Artensterben. Diese Probleme sind deshalb schwierig zu verstehen, da sie durch ein kompliziertes Netz aus Wechselwirkungen innerhalb verschachtelter Systeme entstehen (Dor-Haim & Assaraf, 2022).

Einen großen Anteil an der Komplexität der biologischen Systeme haben die zahlreichen Organisationsebenen, da biologische Systeme aus zahlreichen Subsystemen bestehen und auf unterschiedlichen Organisationsebenen betrachtet werden können (Housh et al., 2022; Mitchell, 2012).

„In biologischen Systemen liegen [daher] die Erklärungen oder Mechanismen eines Phänomens häufig auf einer anderen Ebene“ (Parker et al., 2012, pp. 12, übersetzt). Biologische Phänomene wie das Artensterben können deshalb selten auf eine Organisationsebene reduziert werden (Langlet, 2016) und kausale Erklärungen umfassen mindestens zwei Organisationsebenen (Wimsatt, 2006).

Wissenschaftler\*innen fällt es leicht, komplexe biologische Phänomene unter Bezug auf die richtigen Organisationsebenen zu erklären, Lernende haben damit jedoch Schwierigkeiten (z.B. Brown & Schwartz, 2009; Düsing et al., 2018; Jördens et al., 2016; Knippels, 2002; Wilensky & Resnick, 1999). Als Reaktion auf die Schwierigkeiten der Lernenden werden Lernstrategien wie zum Beispiel Jo-Jo-Lernen oder das Verfolgen von Atomen vorgeschlagen (Düsing et al., 2019; Jördens et al., 2016; Knippels et al., 2005). Den Lernstrategien ist gemein, dass Organisationsebenen im Unterricht berücksichtigt werden sollten (Jördens et al., 2016; Knippels et al., 2005) und Lernende Organisationsebenen sowohl vertikal als auch horizontal vernetzen sollten (Hammann, 2019; Verhoeff, 2003). In der Praxis müssen Lernende dennoch angeregt werden, sich explizit mit den Organisationsebenen auseinanderzusetzen (Hammann, 2019).








Bisher gibt es jedoch noch kein Lernwerkzeug, mit dem Lernende explizit angeregt werden können, Organisationsebenen zu berücksichtigen. Ziel der Arbeit ist es somit, ein Lernwerkzeug zu entwickeln und zu evaluieren, welches es ermöglicht, im Unterricht Organisationsebenen explizit einzubinden.

Um dieses Ziel zu erreichen, führten wir eine systematische Literaturanalyse zum Konzept der Organisationsebenen durch. Auf Basis der Ergebnisse erfolgte mit der Entwicklung eines neuen Lernwerkzeug, der Zoom Map, der zentrale Schritt der Arbeit. Die Zoom Map ist ein neuartiges grafisches Lernwerkzeug, der Aspekte des Concept Mappings aufgreift und dabei Zoomen als Darstellungsform von Organisationsebenen einbindet. Zur Evaluation der Zoom Map setzten wir sie in Vermittlungsversuchen ein.



Das Dissertationsvorhaben wurde bereits in sechs Publikationen veröffentlicht. Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung und Rahmung der zugrundeliegenden Publikationen. Die Publikationen werden in **Kapitel 10** abgedruckt. Eine Übersicht zu den Arbeiten bietet Box 1.

**Box 1: Angaben zu den zugrundeliegenden Publikationen**

	Schneeweiß, N. & Schanze, S. (2020). <i>Wissen organisieren und visualisieren – Erstellung von Concept Maps mit CmapTools</i> . Unterricht Chemie. (177/178). 92-95.	
Publikation 1		
(Kapitel 10.1)	Zeitschrift mit HerausgeberInnen-Review.	
	Schneeweiß, N. & Gropengießer, H. (2019). <i>Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature</i> . Education Sciences. 9(3). 207.	
Publikation 2		
(Kapitel 10.2)	Zeitschrift mit Blind-Peer-Review.	
	Schneeweiß, N. & Gropengießer, H. (2021). <i>The Zoom Map: A New Graphic Organizer to Guide Students' Explanations Across the Levels of Biological Organization</i> . Bioscene. 47(1). 3-14.	
Publikation 3		
(Kapitel 10.3)	Zeitschrift mit Peer-Review.	
	Schneeweiß, N., Mölgen, L. & Gropengießer, H. (2022). <i>Guiding students' explanations across the levels of biological organisation: The case of wilted plants</i> . Journal of Biological Education.	
Publikation 4		
(Kapitel 10.4)	Zeitschrift mit Blind-Peer-Review.	
	Schneeweiß, N. & Gropengießer, H. (2022). <i>The Zoom Map: Explaining Complex Biological Phenomena by Drawing Connections between and in Levels of Organization</i> . In: Assaraff, O. B. Z. & Knippels, M. C. (Hrsg.). <i>Fostering Understanding of Complex Systems in Biology Education</i> . Cham: Springer Verlag. 123-149.	
Publikation 5		
(Kapitel 10.5)	Eingeladenes Buchkapitel. Referierter Sammelband.	
	Schneeweiß, N. & Gropengießer, H. (2022). <i>Komplexe biologische Phänomene durch Zoomen und Jo-Jo-Lernen auf allen Ebenen erklären</i> . BU-Praktisch. 5(2). 1	
Publikation 6		
(Kapitel 10.6)	Zeitschrift mit HerausgeberInnen-Review.	

In **Kapitel 2** (Stand der Forschung) werden zunächst die forschungsrelevanten Grundlagen zusammengefasst. Dabei wird zunächst erläutert, welche Lernschwierigkeiten von Lernenden im Zusammenhang mit biologischer Komplexität bestehen. Daran anknüpfend wird dargestellt, worin die Komplexität der Biologie besteht und welche zentralen fachdidaktischen Erkenntnisse zum Umgang mit den Schwierigkeiten der Lernenden bekannt sind. Da



Erkenntnisse aus dem Stand der Forschung in der unterrichtspraktischen PUBLIKATION 1 mündeten, werden die Ergebnisse bereits im Rahmen des Stands der Forschung (Kapitel 2) vorgestellt. Der dieser Arbeit zugrundeliegende Theorierahmen wird in **Kapitel 3** erläutert. In **Kapitel 4** werden die anhand des Stands der Forschung hergeleiteten zentralen Fragestellungen vorgestellt und die Beiträge der PUBLIKATIONEN 2 bis 5 zu den Fragestellungen erläutert. **Kapitel 5** gibt eine Übersicht über die in dieser Arbeit verwendeten Methoden.

Den Hauptteil dieser Arbeit bilden die Darstellung und Diskussion der zentralen Ergebnisse der vier Publikationen in **Kapitel 6**. Mit einem Fazit in **Kapitel 7** sowie einem Ausblick für Biologieunterricht und Forschung (**Kapitel 8**) schließt die Arbeit. In diesem Rahmen werden auch wesentliche Inhalte des Praxisartikels PUBLIKATION 6 vorgestellt.

# 2.

## Stand der Forschung



*„Wenn ich weitergesehen habe als andere, so deshalb,  
weil ich auf den Schultern von Riesen stehe.“*

Dieser fälschlicherweise Newton zugeordnete antike Leitspruch (Merton, 1989) prägt das Selbstverständnis von Wissenschaft und findet sich in den Titeln vieler Veröffentlichungen wieder (z.B. Gaidos et al., 2013; White et al., 2020). Doch auch für die vorliegende Arbeit gilt, dass sie an zahlreiche Ergebnisse vorangegangener Studien anknüpft.

Ziel der Arbeit ist es, ein Lernwerkzeug zu entwickeln und zu evaluieren, das es ermöglicht, im Unterricht Organisationsebenen explizit einzubinden. Daher wird der Stand der Forschung aus drei Perspektiven in den Blick genommen:

- **Aus der Perspektive der Lernenden** wird beleuchtet, welche Anknüpfungsmöglichkeiten und Lernschwierigkeiten vorliegen. Bei der Vorbereitung und Planung von Unterricht sollte prinzipiell die Perspektive der Lernenden berücksichtigt werden (Ausubel, 1968; Kattmann et al., 1997).
- **Aus der Perspektive der Fachwissenschaft** wird untersucht, welche Charakteristika die Biologie und biologische Erklärungen komplex machen.
- **Aus der Perspektive der Fachdidaktik** werden Erkenntnisse zu Lernmethoden und -strategien zusammengefasst, die sich für die Unterstützung bei komplexen Phänomenen bewährt haben.

Um nachvollziehbarer zu machen, welche Forschungslücken dieser Arbeit zugrunde liegen, werden offene Fragen mit einem Symbol (❓) markiert.

Der Stand der Forschung sowie die offenen Fragen werden am Ende des Kapitels zusammengefasst.

## 2.1 Perspektive der Lernenden

### 2.1.1 Lernende haben Schwierigkeiten komplexe biologische Phänomene zu erklären

Lernende stellt die Komplexität biologischer Phänomene und insbesondere die Berücksichtigung der Organisationsebenen vor Herausforderungen (Schönborn & Bögeholz, 2013). Erkenntnisse zu Verständnisschwierigkeiten im Zusammenhang mit Ebenen gibt es aus Studien zu verschiedensten Themenbereichen (Kapitel 2.1.2). In der Tabelle 1 werden zu fünf großen Themenbereichen der Biologie Veröffentlichungen zusammengefasst, die Verständnisschwierigkeiten im Zusammenhang mit Ebenen beschreiben.

Tabelle 1: Fachdidaktische Erkenntnisse zu Schwierigkeiten von Schüler\*innen im Umgang mit Organisationsebenen; ergänzt nach Jördens et al. (2016)

Thema	Veröffentlichungen
Zellbiologie	(Dreyfus & Jungwirth, 1988, 1989; Flores et al., 2003; Hilge, 1999; Southard et al., 2017; Ummels et al., 2014; van Mil et al., 2016; Zamorra & Guerra, 1993)
Genetik	(Duncan & Reiser, 2007; Knippels, 2002; Knippels et al., 2005; Marbach-Ad & Stavy, 2010; Slack & Stewart, 1990; Williams et al., 2012)
Physiologie	(Anderson et al., 1990; Assaraf et al., 2011; Brown & Schwartz, 2009; Lira & Gardner, 2017; Schwartz & Brown, 2013; Songer & Mintzes, 1994; Stavy et al., 1987)
Ökologie	(Alparslan et al., 2003; Düsing et al., 2018; Ebert-May et al., 2003; Hilge, 1999; Liu & Lesniak, 2006; Unger, 2017)
Evolution	(Bishop & Anderson, 1990; Ferrari & Chi, 1998; Shtulman, 2006; Smith & Good, 1984)

Im Folgenden werden zentrale Ergebnisse der in Tabelle 1 gelisteten Studien dargestellt. Daran soll verdeutlicht werden, dass es Lernenden Schwierigkeiten bereitet, in ihren Erklärungen die Organisationsebenen zu berücksichtigen. Anhand dieser Beispiele werden im darauffolgenden Kapitel Kategorien von Verständnisschwierigkeiten gebildet und erläutert.

### 2.1.2 Lernende haben in unterschiedlichen Themenbereichen der Biologie Schwierigkeiten Organisationsebenen zu berücksichtigen

#### Zellbiologie

Untersuchungen zu zellbiologischen Phänomenen zeigen, dass Lernende Eigenschaften von makroskopischen Organismen auf Zellen übertragen (Flores et al., 2003). Ein Beispiel ist die Übertragung der Strukturen und Prozesse der Nahrungsaufnahme von Tieren auf Mikroorganismen, wie zum Beispiel kleine Lungen in Zellen (Dreyfus & Jungwirth, 1989; Flores et al., 2003). Darüber hinaus begründen sie die Form von Zellen mit der Form des Organs, das die Zellen bilden und nicht andersherum (Flores et al., 2003). Ummels et al. (2014) stellten fest, dass Schüler\*innen bei Erklärungen zu Stoffwechselprozessen nicht auf die Zellebene wechseln.

#### Genetik

Genetik wird von vielen Schüler\*innen als schwieriges Thema empfunden (Bahar et al., 1999; Johnstone & Mahmoud, 1980). Als eine Ursache dafür werden die vielen genetikspezifischen Termini angeführt (z.B. Bahar et al., 1999; Hackling & Treagust, 1984; Pearson & Hughes, 1988; Venville & Treagust, 1998). Als eine andere Ursache gilt, dass Genetik auf verschiedenen Ebenen erklärt werden muss, von der Ebene der Moleküle, über die Ebene der Zellen bis hin zur Ebene der Organismen (Treagust & Tsui, 2013). Die Schwierigkeiten zeigen sich



beispielsweise dadurch, dass Schüler\*innen in ihren Erklärungen Gene und Merkmale verwechseln (Kattmann, 2015; Marbach-Ad & Stavy, 2010; Williams et al., 2012).

Ein weiteres Beispiel ist, dass der genetische Terminus *Dominanz* von Lernenden statt auf molekularer Ebene teilweise auf der Ebene von Populationen verwendet wird, um Merkmalshäufigkeiten zu erklären (Slack & Stewart, 1990; Smith & Good, 1984).

Lewis and Kattmann (2004) schlagen deshalb die strikte Trennung der Ebenen Genotyp und Phänotyp vor. Die nur in der Genetik gebräuchlichen Ebenen Genotyp und Phänotyp können den allgemeineren Ebenen der Moleküle und Ebene der Organismen zugeordnet werden.

### *Physiologie*

Der Terminus Mechanismus wird im Kontext der Physiologie von Lernenden häufig der Ebene der Moleküle zugeordnet (Lira & Gardner, 2017). Zellatmung beim Menschen wird mit dem Gasaustausch in der Lunge beschrieben (Anderson et al., 1990).

### *Evolution*

Bei Erklärungen von evolutionärer Anpassung verwechseln Schüler\*innen die Ebene von Organismen und Population. So erklären sie den Anpassungsprozess häufig mit gleichmäßigen Änderungen aller Individuen anstatt mit Variation und veränderten Häufigkeiten innerhalb der Population (Bishop & Anderson, 1990; Shtulman, 2006).

In einer weiteren Studie wurde von Smith and Good (1984) herausgearbeitet, dass Lernende die Ebene der Moleküle mit der Ebene der Population verwechseln. In dieser Studie äußerten die Lernenden, dass ein Gen dann dominant sei, wenn der zugehörige Phänotyp am häufigsten in der Population auftritt (Smith & Good, 1984).

### *Ökologie*

Ökologische Phänomene zu erklären stellt für viele Schüler\*innen eine Herausforderung dar (Dor-Haim & Assaraf, 2022; Hogan & Fisherkeller, 1996). Die Schwierigkeiten beruhen auf der Komplexität der Ökosysteme und fehlendem Vorwissen (Grotzer & Bell Basca, 2003; Hmelo-Silver et al., 2007).

Im Bereich der Ökologie werden fehlende Verknüpfungen zwischen Prozessen auf molekularer Ebene und makroskopischen Phänomenen beschrieben. Dadurch fällt es Schüler\*innen schwer, die Bedeutung von Photosynthese und Zellatmung für Ökosysteme zu beschreiben (Brown & Schwartz, 2009; Waheed & Lucas, 1992). Anderen Autor\*innen zufolge fällt es Schüler\*innen allgemein schwer zu erkennen, dass vielen verschiedenen makroskopischen Prozessen die gleichen molekularen Prozesse zugrunde liegen (Alparslan et al., 2003; Liu & Lesniak, 2006).

Dies zeigt sich auch bei Erklärungen zum Kohlenstoffkreislauf. Schüler\*innen fokussieren vor allem auf die Wechselwirkung von Tieren, bleiben also auf der Ebene von Organismen. Die molekularen Prozesse Photosynthese und Zellatmung werden entweder ausgeblendet oder nicht mit der Ebene der Organismen verknüpft (Düsing et al., 2018; Ebert-May et al., 2003; Hlawatsch et al., 2005; Niebert, 2010).

Ein weiteres Beispiel hierfür ist die bakterielle Zersetzung, die Schüler nur als mechanische Verkleinerung auf makroskopischer Ebene beschreiben, ohne Stoffumwandlungen auf molekularer Ebene mit einzubeziehen (Hilge, 1999; Unger, 2017).

### **2.1.3 Die Verständnisschwierigkeiten der Lernenden lassen sich auf Organisationsebenen zurückführen**

Anhand von fünf Themenbereichen wurden exemplarisch Schwierigkeiten von Lernenden im Umgang mit biologischen Phänomenen beschrieben. Die beschriebenen Verständnisschwierigkeiten können dabei in Anlehnung an Jördens et al. (2016)

verschiedenen Kategorien zugeordnet werden: Das Verwechseln von Ebenen, das Erklären nur auf einer Ebene, sowie die fehlende Verknüpfung von Ebenen.

#### *Lernende verwechseln Organisationsebenen*

Dass Schüler\*innen in ihren Erklärungen Ebenen verwechseln („slippage between levels“), ist laut Wilensky and Resnick (1999, p. 3) eine Ursache für falsches Verständnis naturwissenschaftlicher Phänomene. Vermischungen treten vor allem dann auf, wenn Prozesse oder Konzepte unterschiedlichen Ebenen zugeordnet werden können (Bahar et al., 1999; Halldén, 1990; Knippels et al., 2005; Penner, 2000).

#### *Lernende erklären nur auf einer Ebene*

Jördens et al. (2016) beschreiben Lernende, die ein Phänomen teilweise nur auf einer Organisationsebene erklären, ohne die dafür nötigen anderen Ebenen mit einzubeziehen. Lernende konzentrieren sich dabei häufig auf sichtbare Strukturen (Gellert, 1962; Hmelo et al., 2000; Hmelo-Silver et al., 2007; Mintzes et al., 1991).

So bleiben beispielsweise viele Lernende bei Erklärungen des Kohlenstoffkreislaufs auf der Ebene der Organismen (Düsing et al., 2018; Ebert-May et al., 2003).

Die Präferenz für Erklärungen auf nur einer Ebene kann auch damit erklärt werden, dass Lernende Erklärungen mit einfachen Kausalitäten oder zentraler Steuerung bevorzugen (Resnick & Wilensky, 1998).

#### *Lernende verknüpfen Ebenen nicht*

Verhoeff (2003) prägt zum Umgang mit Ebenen die Termini *horizontale und vertikale Vernetzung*. *Horizontale Vernetzung* ist dabei die Verknüpfungen zwischen Konzepten derselben Ebene. Ein Beispiel für horizontale Vernetzung ist die Verknüpfung von Licht- und Dunkelreaktion der Photosynthese, die beide der Ebene der Zellorganellen zugeordnet werden können. *Vertikale Vernetzung* ist nach Verhoeff (2003) die Verknüpfung von Konzepten, die unterschiedlichen Ebenen zugeordnet werden können.

Im Themenfeld Kohlenstoffkreislauf fällt es Schüler\*innen beispielsweise häufig schwer, die Ebene von Molekülen mit denen von Organismus und Biosphäre zu verknüpfen (Düsing et al., 2018).

Verhoeff et al. (2008) selbst erläutern die Vernetzung am Beispiel *Zelle*. Aufgrund der Bedeutung von Zellen für ein Verständnis multizellulärer Organismen lernen Schüler\*innen viele Strukturen und Prozesse auf zellulärer Ebene. Diese Prozesse und Strukturen werden jedoch nicht mit darüberliegenden Ebenen, zum Beispiel der Ebene des Organismus, verknüpft. Dadurch, so die Autoren, verstehen Schüler\*innen die Zelle häufig nicht als kleinste Einheit eines Organismus (Dreyfus & Jungwirth, 1989; Flores et al., 2003).

Auch Liu and Lesniak (2006) berichten, dass Lernende Schwierigkeiten bei der Verknüpfung makroskopischer Beobachtungen und mikroskopischen Ursachen haben.

## 2.2 Fachliche Perspektive

### 2.2.1 *Die Biologie erklärt komplexe Phänomene*

Im vorangegangenen Kapitel konnte herausgearbeitet werden, dass Lernenden die Erklärung biologischer Phänomene Schwierigkeiten bereitet. Daher soll in diesem Abschnitt der Frage nachgegangen werden, was die Biologie so komplex macht.

Die Diskussion über Komplexität hat in der Biologie eine lange Tradition. Mit dem Aufkommen der klassischen Physik im 17. Jahrhundert wurden natürliche (und biologische) Phänomene in einem mechanistischen Rahmen beschrieben: Naturphänomene können erklärt werden, indem man ihre Teile beschreibt (De Klerk, 1979). Diese Idee, lebende Organismen als Maschinen zu betrachten, wurde von den Vitalisten negiert. Für Vitalisten war das Leben komplexer. Sie proklamierten eine vitale Kraft, die den Organismus beherrscht (De Klerk, 1979). Bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts war der mechanistische Reduktionismus das vorherrschende Paradigma in der Biologie. Doch die biochemische Revolution entfachte eine neue Diskussion über Komplexität (Greene, 1987). Auf der Grundlage dieser Debatte schlugen Autoren wie Eglar (1942) und Novikoff (1945) eine Hierarchie der Ebenen in der Biologie vor. Die neue Position der integrativen Ebenen war weder mit dem mechanistischen, noch mit dem vitalistischen Weltbild vereinbar:

"Das Konzept der integrativen Ebenen erkennt sowohl die Isolierung von Teilen eines Ganzen als auch ihre Integration in die Struktur des Ganzen als gleichermaßen wesentlich für den Zweck der wissenschaftlichen Analyse an. Es reduziert weder die Phänomene einer höheren Ebene auf die einer niedrigeren, wie im Mechanismus, noch beschreibt es die höhere Ebene in vagen, nicht-materiellen Begriffen, die nur ein Ersatz für das Verständnis sind, wie im Vitalismus." (Novikoff, 1945, p. 209). Stark beeinflusst von der allgemeinen Systemtheorie (von Bertalanffy, 1950) betrachtete das neue Paradigma des Integrationismus die Objekte und Phänomene in der Biologie als ein System aus Systemen (De Klerk, 1979).

Heute ist es allgemein anerkannt, dass "Komplexität in der Biologie endemisch ist" (Mitchell, 2012, p. xiii), weil das Leben selbst "durch [...] mehrstufige [...] Systeme konstituiert ist."

Kurz gesagt, die Antwort auf die Frage "*Was macht biologische Phänomene komplex?*" könnte lauten: Es sind die biologischen Systeme, die die Biologie komplex machen.

Diese Einsicht verschiebt die Frage zu: "*Was macht biologische Systeme komplex?*"

Ein System kann als komplex bezeichnet werden (Dauer & Dauer, 2016; Eilam, 2012; Mitchell, 2012), wenn es:

- offen ist
- in mehrere Organisationsebenen gegliedert ist
- viele Entitäten hat
- eine Interaktion zwischen den Entitäten innerhalb und zwischen den Organisationsebenen aufweist
- durch das Verhalten der Entitäten beeinflusst wird
- emergente Eigenschaften hat.

### 2.2.2 *Organisationsebenen machen biologische Phänomene komplex*

Einen großen Anteil an der Komplexität der biologischen Systeme haben die zahlreichen Organisationsebenen, da komplexe Systeme aus zahlreichen Subsystemen auf unterschiedlichen Organisationsebenen bestehen (Housh et al., 2022). Das Konzept der Organisationsebenen soll anhand von Abbildung 1 kurz eingeführt werden. Biologische Phänomene konstituieren sich auf den unterschiedlichsten Organisationsebenen. In dem Lehrbuch von Campbell et al. (2008) werden die Organisationsebenen von der Biosphäre bis zum Molekül bildlich dargestellt (Abbildung 1).

► **Abbildung 1.3: Näher betrachtet**  
Ebenen der biologischen Organisation

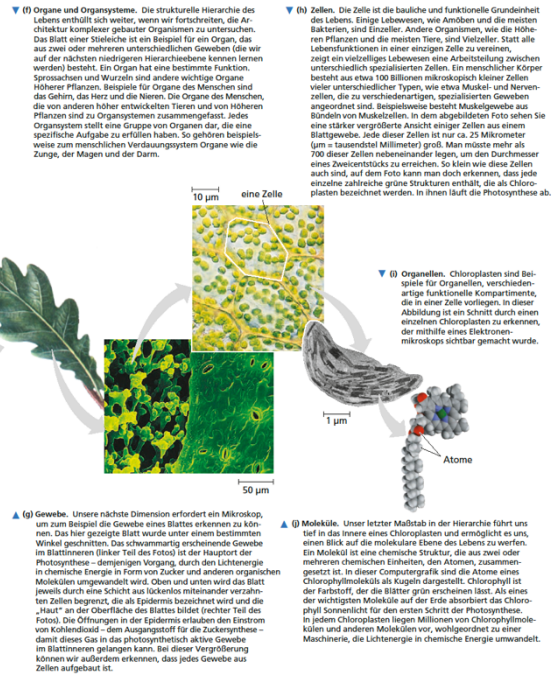
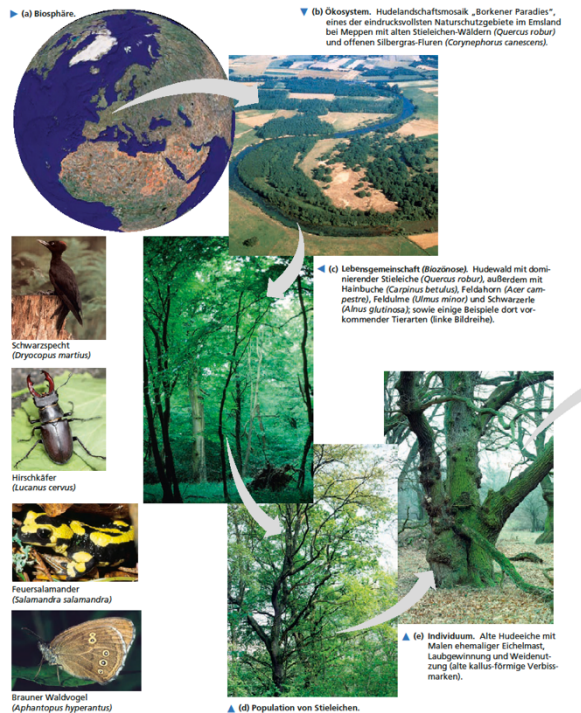


Abbildung 1: Biologische Organisationsebenen im Einführungskapitel eine Lehrbuchs (Campbell et al., 2008, p. 6f). Abgebildet werden die Organisationsebenen Biosphäre, Ökosystem, Lebensgemeinschaft, Population, Individuum, Organe und Organsysteme, Gewebe, Zellen, Organellen und Molekül (von links oben nach rechts unten).

Die Organisationsebenen werden teilweise auch abstrakt hierarchisch dargestellt (Abbildung 2).

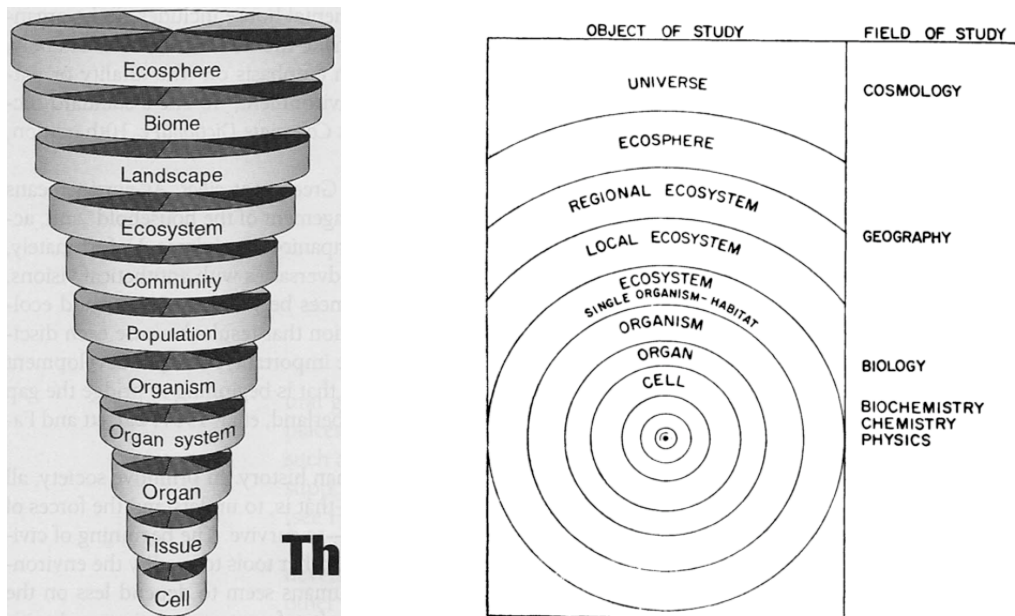


Abbildung 2: Abstrakte, hierarchische Darstellungen der Organisationsebenen. Links: Odum and Barret (2005, p. 1), rechts: Rowe (1961, p. 422)

Die in Abbildung 1 und Abbildung 2 abgebildeten Darstellungen der Organisationsebenen benennen unterschiedliche Organisationsebenen.

Campbell et al.: *Biosphäre, Ökosystem, Lebensgemeinschaft, Population, Individuum, Organe und Organsysteme, Gewebe, Zellen, Organellen und Molekül*

Odum & Barret: *Ökosphäre, Biom, Landschaft, Ökosystem, Lebensgemeinschaft, Population, Organismus, Organsystem, Organ, Gewebe, Zelle*

Rowe: *Universum, Ökosphäre, Regionales Ökosystem, lokales Ökosystem, Organismus, Organ und Zelle*

Teilweise werden Ebenen nach oben oder unten ergänzt, beispielsweise *Universum* oder *Molekül* oder Ebenen mehr zusammengefasst oder ausdifferenziert, zum Beispiel *Organ und Organsystem*.

Schon der Vergleich nur dieser drei Darstellungen zeigt, dass trotz der allgegenwärtigen Verwendung des Begriffs der Organisationsebenen in der Biologie und im Biologieunterricht der Begriff nicht so eindeutig ist, wie seine Verbreitung vermuten lassen könnte. Selbst grundlegende Fragen wie: "*Welches sind die (relevanten) Organisationsebenen?*" sind noch nicht endgültig beantwortet (Eronen & Brooks, 2018; Schneeweiß & Gropengießer, 2019). Die Ergebnisse von PUBLIKATION 2 liefern erste Antworten auf offene Fragen.



### Offene Fragen

- Welches sind die relevanten Organisationsebenen?
- Welche Eigenschaften haben Organisationsebenen?
- Wie können Organisationsebenen im Unterricht vermittelt werden?

Ein Blick auf andere Disziplinen wie Physik und Chemie legt nahe, dass die Systeme zumindest hinsichtlich der Ebenen klarer zu sein scheinen. Die Physik verwendet Skalen in Zehnerpotenzen, um ihre Untersuchungsobjekte einzuordnen, die Chemie verwendet die Ebenen *Makro* (Substanz) und *Submakro* (Teilchen) (Johnstone, 1991). Selbst wenn wir die jüngste Diskussion über eine *Nanoebene* in der Chemie berücksichtigt, ist dies kein Vergleich zu der Vielzahl von Ebenen in der Biologie (Abbildung 3).

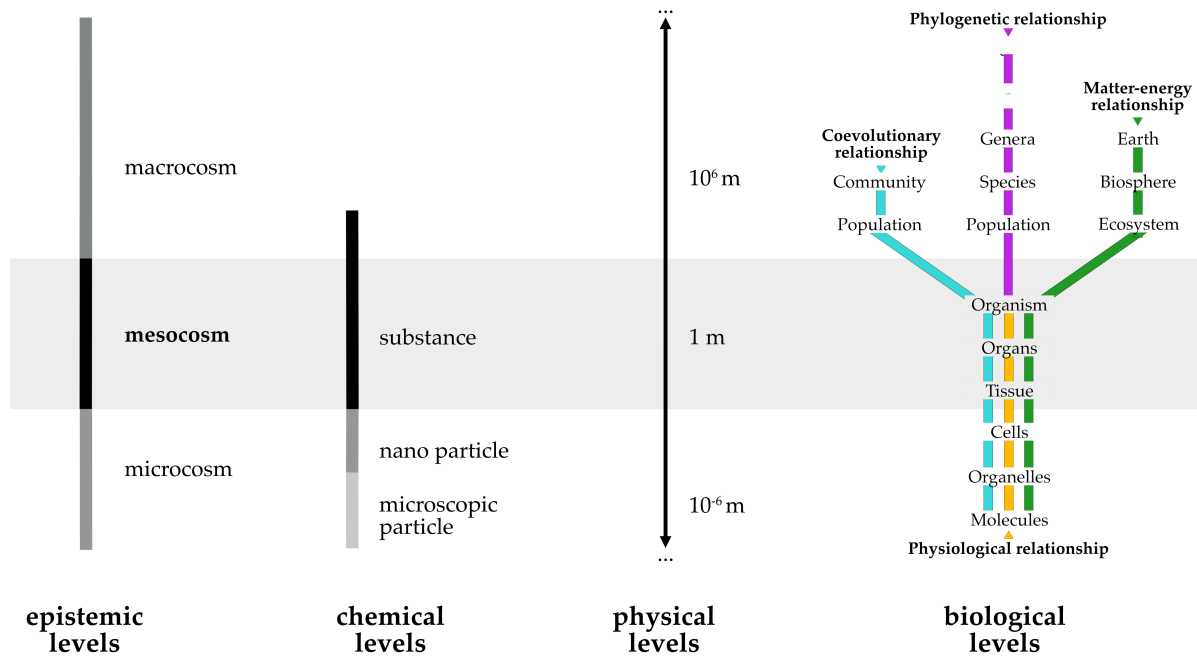


Abbildung 3: Vergleich von Ebenen in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen

### 2.2.3 Biologische Erklärungen

Die Besonderheiten der Biologie als wissenschaftliche Disziplin zeigen sich nicht nur in den Organisationsebenen, sondern auch in der Struktur biologischer Erklärungen. Die Biologie versucht, wie andere Wissenschaften auch, die Welt zu erklären. Die Erklärungen von Phänomenen dienen als Grundlage für Vorhersagen. Nach Hempel and Oppenheim (1948) brauchen Erklärungen ein Explanandum, also etwas, das erklärt werden soll, und ein Explanans, mit dem dieses erklärt wird. Das Explanans besteht wiederum aus Antezedenzen, also Anfangs- oder Randbedingungen, die zusammen mit allgemeinen Gesetzen oder Regelmäßigkeiten zu kausalen Erklärungen führen. In der Biologie lassen sich grundsätzlich zwei Formen von Explanatien unterscheiden: proximate, physiologische Ursachen und ultimate, evolutionäre Mechanismen. Beide können und müssen angewandt werden, um beispielsweise die Existenz eines bestimmten Merkmals innerhalb einer Population zu erklären (Mayr, 1961).

In der Biologie ist das Explanandum häufig ein komplexes Phänomen. Daher sind auch die Erklärungen nicht als lineare Ursache-Wirkung-Prinzipien darstellbar, anders als etwa bei der Bewegung einer Billardkugel. Vielmehr ist das Explanandum eine Kausalkette (Mechanismus) und noch häufiger ein Kausalnetz oder -filz, welche sich über die verschiedenen Organisationsebenen erstrecken. Mechanismen entsprechen biologischen Strukturen und ihren Interaktionen (Darden, 2002; Machamer et al., 2000).

Die biologische Komplexität und insbesondere die Organisationsebenen in biologischen Erklärungen zu berücksichtigen, ist eine Herausforderung (siehe Kapitel 2.1). Dies kann eine Erklärung für die im vorangegangenen Kapitel erläuterten Lernschwierigkeiten der Schüler\*innen sein. Daher werden im nachfolgenden Kapitel fachdidaktische Leitlinien zum Umgang mit der biologischen Komplexität erkundet.

## 2.3 Fachdidaktische Perspektive

### 2.3.1 Unterricht muss Ebenen explizit wechseln und vernetzen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden verschiedenste Verständnisschwierigkeiten von Lernenden sowie die Komplexität der Biologie insbesondere durch die Organisationsebenen erläutert. Ein Fazit, das viele Autor\*innen deshalb ziehen, ist, dass Ebenen explizit im Unterricht thematisiert werden müssen (Parker et al., 2012; Penner, 2000; Wilensky & Resnick, 1999).

Damit einher geht die Forderung nach einer Verbesserung der Systemkompetenz der Schüler\*innen (Verhoeff et al., 2008). Denn „die Fähigkeit, zwischen Organisationsebenen zu wechseln, [ist] eine Kernkompetenz des Biologieunterrichts“ (MNU, 2001, p. XI).

Unterrichtsreihen oder Lernangebote, die die Systemkompetenz von Lernenden fördern, sollten nach Verhoeff et al. (2008) und Jördens et al. (2016, p. 961) fünf Kriterien erfüllen (Tabelle 2):

Tabelle 2: Kriterien zur Förderung der Systemkompetenz nach Verhoeff et al. (2008) und Jördens et al. (2016, p. 961), mit eigenen Erläuterungen

Kriterien	Erläuterung
1. Unterscheidung verschiedener Organisationsebenen	Um Ebenen wechseln und verknüpfen zu können, müssen zunächst die Ebenen benannt und differenziert werden (Knippels et al., 2005, p. 109).
2. (horizontale Vernetzung)	Konzepte, die der gleichen Ebene zugeschrieben werden können, sollten vernetzt werden. Dadurch sollte deutlich werden, in welcher Beziehung sie stehen.
3. (vertikale Vernetzung)	Konzepte, die auf unterschiedlichen Ebenen liegen, sollten vernetzt werden. Am Beispiel Genetik erläutert Hammann (2019, p. 82), dass zur Vernetzung der Organisationsebenen zusätzliches Wissen vermittelt werden muss, damit die Erklärungen über die Ebenen hinweg <i>verlängert</i> werden können. Notwendig seien dazu „kausal-mechanistische Erklärungen wie die genetische Information, die physische Effekte (Merkmale oder Eigenschaften) hervorruft“ Duncan and Reiser (2007, p. 947):
4. Wechseln zwischen den Ebenen	Knippels (2002) stellte fest, dass nicht nur der Wechsel auf niedrigere Organisationsebenen, sondern auch die Rückkehr auf höhere Organisationsebenen Schüler*innen Schwierigkeiten bereitet. Sie beschreibt daher das sogenannte Jo-Jo-Lernen, bei dem Schüler*innen die Ebenen bewusst durchschreiten und das Phänomen dadurch auf allen relevanten Organisationsebenen betrachten. Leitend für den Abstieg sind Kausalitäten, also Fragen nach Ursachen. Fragen nach Funktionen leiten den Wiederaufstieg auf höhere Ebenen (Knippels, 2002, p. 92; Knippels et al., 2005)
5. Metareflexion	Jördens et al. (2016) und Verhoeff et al. (2008) ergänzten die Jo-Jo-Lernstrategie mit einer Metareflexion. Dabei sollen die Schüler*innen eigenständig reflektieren, welche Ebenen sie durchschritten haben.

Diese Leitlinien ermöglichen Lehrkräften zwar Unterricht zu konzipieren, der die Systemkompetenz von Lernenden fördert, Lehrkräfte müssen die Lernenden trotzdem aber explizit ermutigen, mit den Organisationsebenen zu interagieren (Hammann, 2019; Reinagel & Bray Speth, 2016).



## Offene Fragen

- Wie und mit welchen Werkzeugen können Lehrkräfte Lernende explizit anleiten, mit den Organisationsebenen zu interagieren?
- Wie kann Jo-Jo-Lernen auf der Ebene von Lernangeboten umgesetzt werden?

### 2.3.2 Grafische Lernwerkzeuge können Lernen unterstützen

Eine Möglichkeit, Lernende bei der Erklärung von Wissenszusammenhängen anzuleiten, sind grafische Lernwerkzeuge. Sie haben sich im naturwissenschaftlichen Unterricht bereits als fruchtbar erwiesen (Aubrecht et al., 2019; Davidowitz & Rollnick, 2001; Hawk, 1986; van Dijk et al., 2014).

Grafische Lernwerkzeuge sind visuelle Darstellungen von Wissen (Hyerle, 2008; Nesbit & Adesope, 2006), die verwendet werden können, um "Informationen und Konzepte zu organisieren und zu strukturieren und das Denken über Beziehungen zwischen Konzepten zu fördern" (Zollman, 2015, p. 4). Um die konzeptionelle Organisation eines Phänomens darzustellen, besteht ein Grafisches Lernwerkzeug aus angeordneten Wörtern oder Wortgruppen. Die räumliche Anordnung ist oft ein Schlüsselement (Stull & Mayer, 2007) wie zum Beispiel bei Concept Maps (Novak & Cañas, 2006a) und Flussdiagrammen (Chambliss & Calfee, 1998).

Von Lernenden konstruierte grafische Lernwerkzeuge können dabei helfen, Texte besser zu verstehen (National Reading Panel, 2000) und Ideen besser zu verknüpfen (Schwendimann & Linn, 2016). Katayama and Robinson (2000) stellen die Hypothese auf, dass von Lernenden erarbeitete grafische Lernwerkzeuge nützlich sind, weil sie generatives Lernen fördern. Darüber hinaus konnten Lernende und Lehrende durch die Konstruktion von grafischen Lernwerkzeugen "fehlende Informationen oder fehlende Verbindungen im eigenen strategischen Denken identifizieren" (Zollman, 2015, p. 4).

Um Lernende bei der Argumentation auf verschiedenen Organisationsebenen zu unterstützen, stellen van Mil et al. (2016) einen Advance Organizer vor (Abbildung 4). Dieser soll Lernende dabei unterstützen, neue Informationen in den jeweiligen Kontext zu setzen und so besser zu verknüpfen. Des Weiteren sollen die Lernenden dadurch angeleitet werden, nach Beziehungen und kausalen Verknüpfungen zu suchen.



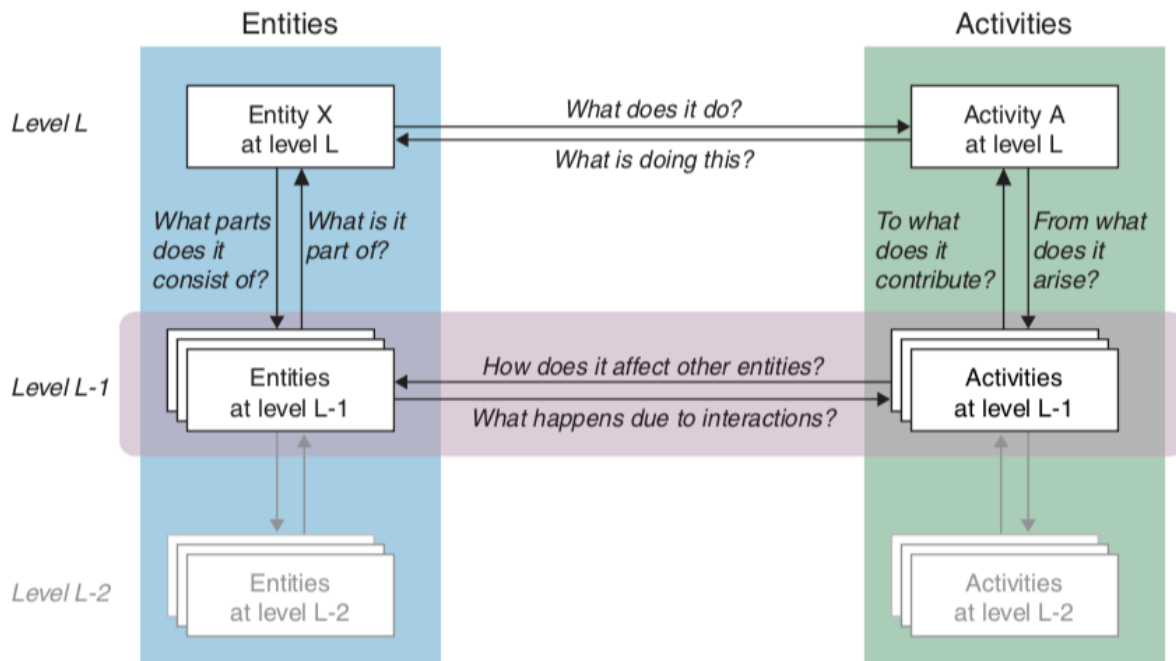


Abbildung 4: Advance Organizer für molekulare mechanistische Erklärungen auf verschiedenen Organisationsebenen (van Mil et al., 2016, p. 524)

Dieser Advance Organizer kann die Lernenden bei der Untersuchung von Phänomenen anleiten und unterstützen. Unklar bleibt jedoch, welche Verknüpfungen die Lernenden ziehen. Dazu müssten die Lernenden ihre Vorstellungen in externen Repräsentationen darstellen, beispielsweise mit Concept Maps, wie im nächsten Abschnitt erläutert wird.



### Offene Fragen

- Mit welchem grafischen Lernwerkzeug könnte das Jo-Jo-Lernen unterstützt werden?
- Wie muss ein solcher grafisches Lernwerkzeug gestaltet sein?

### 2.3.3 Durch Concept Maps kann Wissen vernetzt werden

Dieser Abschnitt beruht zum Teil auf dem Praxisartikel (PUBLIKATION 1). In diesem Abschnitt wird nur der Stand der Forschung zum Concept Mapping dargestellt. Ein Unterrichtsvorschlag mit Concept Mapping findet sich in PUBLIKATION 1 (Kapitel 10.1).

Ein grafisches Lernwerkzeug, das sich besonders für die explizite Vernetzung von Wissen etabliert hat, sind Concept Maps. Concept Maps sind eine Form der Visualisierung, die speziell auf die Darstellung von Beziehungen und Zusammenhängen ausgerichtet sind. Eine Concept Map besteht aus untereinander vernetzten Propositionen. Eine Proposition ist die kleinste Einheit einer Concept Map und besteht aus zwei Begriffen und einer Relation (Fürstenau, 2011; Novak, 1990).

Beispiel:

Begriff 1	---- Relation	--->	Begriff 2
Concept Maps	---- bestehen aus	--->	Propositionen

In Abbildung 5 wird eine Concept Map zum Thema Concept Maps dargestellt.

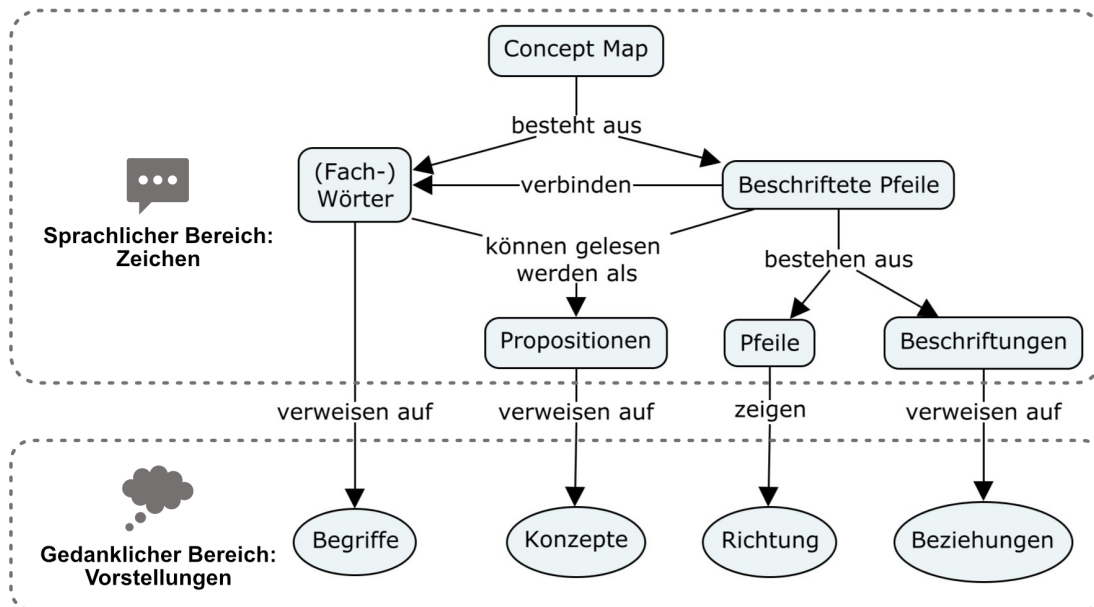


Abbildung 5: Selbstreferentielle Concept Map über Concept Maps

Zum Nutzen von Concept Maps als Lern- und Diagnosewerkzeug gibt es bereits Erkenntnisse aus empirischen Untersuchungen (Bergan-Roller et al., 2018; BouJaoude & Attieh, 2008; Campbell, 2016; Dauer et al., 2013; Javonillo & Martin-Dunlop, 2019; Machado & Carvalho, 2020; Vasconcelos et al., 2019). Demnach unterstützen sie Lernprozesse durch die Externalisierung mentaler Konzepte als externe Repräsentation. Dabei müssen Verbindungen zwischen Begriffen hergestellt und Wissen neu organisiert werden (Dauer et al., 2013; Fischer et al., 2002; Novak & Cañas, 2006b). Voraussetzung für die Wirksamkeit ist jedoch, dass das Concept Mapping wie andere Lernstrategien erst erlernt wird (Sumfleth et al., 2010).

Schwartz and Brown (2013) stellen fest, dass Concept Maps geeignet sind, Organisationsebenen zu verknüpfen. Eine beispielhafte Umsetzung zeigen Schwendimann and Linn (2016). Bei Concept Maps werden jedoch die Organisationsebenen und ihre Beziehungen zueinander nicht explizit gemacht.



## Offene Fragen

- Wie können Organisationsebenen in Concept Maps explizit gemacht werden?

Eine weitere Stärke von Concept Maps liegt im Bereich der Diagnose (Brandstädter et al., 2012; Hay et al., 2008; Kinchin et al., 2019; Maker & Zimmerman, 2020; McClure et al., 1999; Plotz, 2019). Durch das Explizieren von Vorstellungen in Form semantischer Netzwerke werden diese für Lehrkräfte sichtbar (Schanze & Brüchner, 2005). Dadurch lassen sich fehlende oder fehlerhafte Verknüpfungen aufdecken und ermöglichen der Lehrkraft oder dem Lernenden selbst, darauf zu reagieren. Wenn Concept Maps mehrfach überarbeitet werden, können zudem Lernzuwächse nachverfolgt werden (Liu, 2002).

## 2.4 Zusammenfassung des Stands der Forschung

### Box 2: Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse der Literatur

- Biologische Phänomene müssen auf mehreren Organisationsebenen untersucht und erklärt werden (s. Kapitel 2.2).
- Lernende haben Schwierigkeiten, Organisationsebenen in Erklärungen biologischer Phänomene adäquat zu berücksichtigen (s. Kapitel 2.1).
- Um Schüler\*innen bei der Erklärung von Phänomenen zu unterstützen, sollten Lehrkräfte Lernumgebungen nach den Prinzipien des Systemdenkens strukturieren - beispielsweise durch Jo-Jo-Lernen (siehe Tabelle 2). Der Unterricht sollte sich auf die Verknüpfung von Konzepten innerhalb und zwischen den Organisationsebenen konzentrieren (s. Kapitel 2.3.1).
- Schüler\*innen berücksichtigen die Organisationsebenen nicht automatisch, sie müssen ermutigt werden und die Organisationsebenen müssen explizit gemacht werden (s. Kapitel 2.3.1).
- Grafische Lernwerkzeuge können Lernen unterstützen, indem Ideen explizit gemacht werden (s. Kapitel 2.3.2).

### Box 3: Zusammenfassung offener Forschungsfragen

- Welches sind die relevanten Organisationsebenen?
- Welche Eigenschaften haben die Organisationsebenen?
- Wie können Organisationsebenen im Unterricht vermittelt werden?
- Wie und mit welchen Werkzeugen können Lehrkräfte Lernende explizit anleiten, mit den Organisationsebenen zu interagieren?
- Wie kann Jo-Jo-Lernen auf Ebene von Lernangeboten umgesetzt werden?
- Mit welchem grafischen Lernwerkzeug könnte Jo-Jo-Lernen unterstützt werden?
- Wie muss ein solches grafisches Lernwerkzeug gestaltet sein?
- Wie können Organisationsebenen in Concept Maps explizit gemacht werden?

# 3.

## Theoretischer Hintergrund

Aus dem Stand der Forschung wurde deutlich, dass Lernende mit Erklärungen komplexer Probleme Schwierigkeiten haben und dabei unterstützt werden müssen. Um darzulegen, *wobei* Lernende unterstützt werden müssen, stelle ich im Folgenden mein Verständnis der Erklärungskonstruktion dar.

Zunächst muss erklärt werden, weshalb im Rahmen dieser Arbeit von der *Erklärungskonstruktion* und nicht etwa vom *Abrufen von Erklärungen* gesprochen wird.

In Studien, bei denen Lernende biologische Phänomene erklären sollten, zeigte sich, dass Lernende ganz unterschiedliche Ideen äußerten (diSessa, 1988; Eylon & Linn, 1988; Linn & Muilenburg, 1996). Vor allem aber zeigte sich, dass die Erklärungen nicht einfach aus dem Gedächtnis abgerufen wurden, sondern offenbar erst in der Erklärungssituation konstruiert wurden (Boersma & Geraedts, 2012; Lombrozo, 2006; Schwarz et al., 2008). Dies kann eine Ursache dafür sein, weshalb Lernende für vergleichbare Probleme in unterschiedlichen Kontexten unterschiedliche Erklärungen liefern (Geraedts & Boersma, 2006; Unger, 2017).

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse und des dynamischen Systemansatzes von Thelen and Smith (1994) veröffentlichten Geraedts and Boersma (2006) einen Theorierahmen für die Konstruktion von Erklärungen, die "*construction in interaction*" (Boersma & Geraedts, 2012, p. 30; Southerland et al., 2001).

Dem Theorierahmen zufolge werden Erklärungen durch die Interaktion der Lernenden mit drei Instanzen generiert:

- (1) dem Referenzobjekt (dem zu erklärenden Phänomen)
- (2) den Äußerungen anderer Personen (Lehrer\*innen oder Gleichaltrigen)
- (3) mit ihren eigenen verfügbaren kognitiven Ressourcen (ihren verinnerlichteten Vorstellungen, Konzepten, Prinzipien und Schemata) (siehe Abbildung 6)

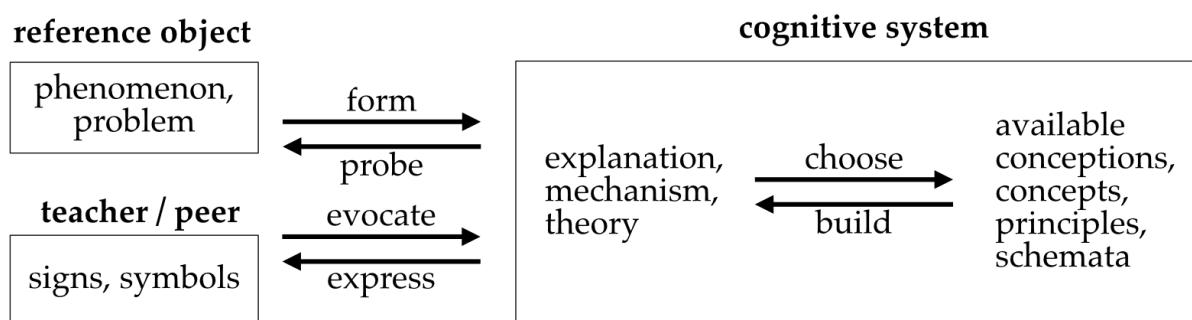


Abbildung 6: Erklärungskonstruktion durch Interaktion (Pfeile) mit den drei Instanzen Referenzobjekt, Personen und dem kognitiven System

Von Lernenden konstruierte Erklärungen entstehen damit nicht aus dem Nichts, sondern beruhen auf stabilen kognitiven Strukturen wie Konzepten und Schemata. In der Regel handelt es sich bei den daraus resultierenden Erklärungen, Mechanismen oder Theorien um relativ komplexe Strukturen. Die Erklärungskonstruktion braucht Zeit und kann mehrere Überarbeitungen umfassen, beispielsweise wenn die Erklärung durch Verschriftlichung externalisiert wird und dabei Brüche bemerkt werden.



Lehren kann somit einerseits bei den kognitiven Ressourcen ansetzen, zum Beispiel indem durch das Stiften von Erfahrungen der Aufbau neuer Konzepte unterstützt wird. Dies ist ein Ansatz, der etwa durch die Arbeiten zu *Conceptual Change* (Alparslan et al., 2003; Chi, 2008; Duit & Treagust, 2003; Novak, 2002) und *Conceptual Reconstruction* (Kattmann, 2007) sowie Arbeiten zur didaktischen Rekonstruktion verfolgt wird (Gropengießer, 2007a; Kattmann et al., 1997; Unger, 2017).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Interaktion mit dem Referenzobjekt selbst zu unterstützen, indem die Lernenden ein neues Denkwerkzeug erhalten, welches die Externalisierung der Erklärungen sowie die Untersuchung des Phänomens hinsichtlich der Organisationsebenen strukturiert und dadurch die Konstruktion von Erklärungen unterstützt. Die auf dieser theoretischen Grundlage entwickelten Fragestellungen der Arbeit werden im nächsten Kapitel erläutert.

# 4. Fragestellungen

## 4.1 Forschungsfragen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, wie die Lernenden durch die explizite Einbindung von Organisationsebenen bei der Konstruktion von biologischen Erklärungen unterstützt werden können. Dazu wurde ein neues grafisches Lernwerkzeug entwickelt und im Rahmen von Vermittlungsversuchen evaluiert.

Diese Fragestellung wurden im Rahmen der PUBLIKATIONEN 2 - 5 untersucht. Erkenntnisse aus der Aufarbeitung des Standes der Forschung mündeten zusätzlich in einem Praxisartikel zum Concept Mapping (PUBLIKATION 1). In PUBLIKATION 6 wurden in einem abschließenden Praxisartikel die gewonnen Erkenntnisse des Dissertationsprojekts in Form einer exemplarischen Unterrichtseinheit dargestellt (Abbildung 7).

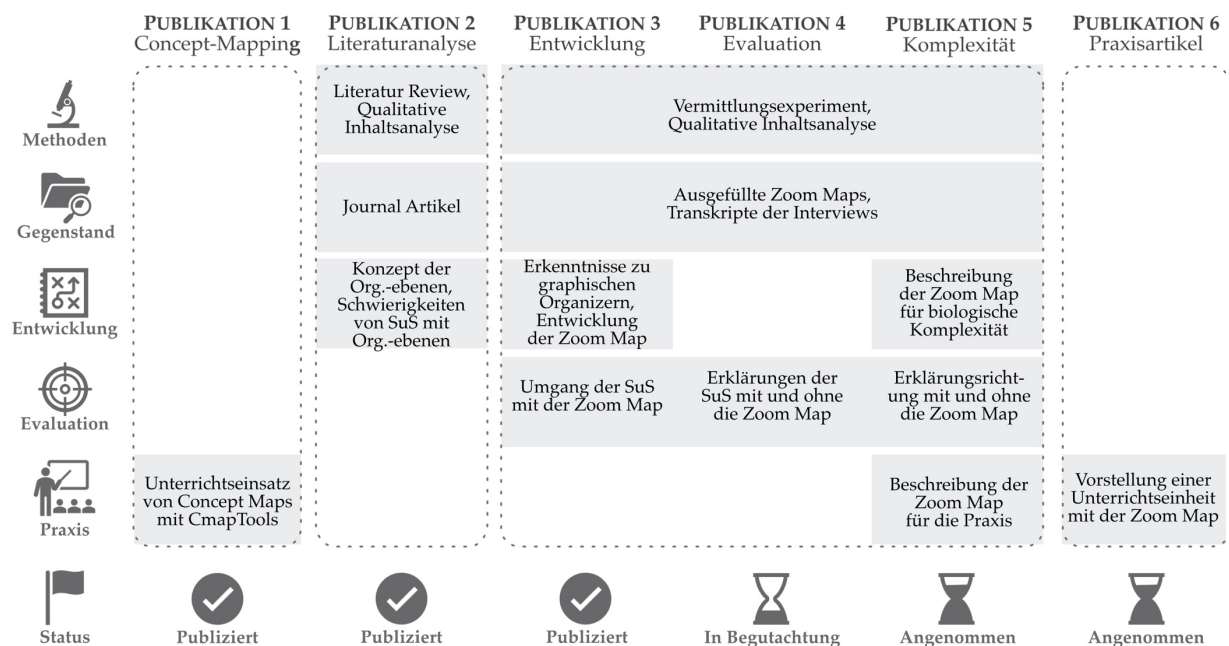


Abbildung 7: Beiträge der PUBLIKATIONEN 1 - 6 zur Forschungsfrage

Die Fragestellungen der Publikationen werden in Box 4 zusammengefasst, vollständige Abdrucke der Publikationen finden sich in Kapitel 10. Im nächsten Abschnitt werden Teilfragestellungen der einzelnen Publikationen sowie deren Beiträge zum Dissertationsvorhaben näher erläutert.

## 4.2 Fragestellungen der Publikationen und Einordnung in das Dissertationsvorhaben

### 4.2.1 PUBLIKATION 1: *Concept Mapping mit CmapTools*

Wie bei der Aufarbeitung des Standes der Forschung herausgearbeitet werden konnte, haben Schüler\*innen Schwierigkeiten bei der Vernetzung von Wissen (Hammann, 2019). Ein Werkzeug, mit dem die Vernetzung von Wissen unterstützt werden kann, sind Concept Maps (Novak & Cañas, 2006a). Diese Erkenntnisse wurden in PUBLIKATION 1 für die Unterrichtspraxis aufgearbeitet. Am Beispiel des Themenbereichs Säuren und Basen wurde ein Unterrichtsgang für die Sekundarstufe 1 entwickelt. Zunächst wurde das digitale Lernwerkzeug CmapTools vorgestellt und diskutiert.

Concept Maps stellten sich im späteren Verlauf des Projekts als Ausgangspunkt für die Entwicklung der Zoom Map heraus. In dieser Publikation wurden somit wichtige Voraussetzungen zur späteren Entwicklung eines neuen Lernwerkzeugs gelegt (Kapitel 10.1)

### 4.2.2 PUBLIKATION 2: *Literaturreview zu den Organisationsebenen*

Im Rahmen des Standes der Forschung wurde herausgearbeitet, dass zum Konzept der Organisationsebenen trotz der Prävalenz in der fachdidaktischen Literatur kein Konsens herrscht (siehe Kapitel 2.2) (Brooks & Eronen, 2018). Um Organisationsebenen für das Lernen einzubinden und explizit zu machen, mussten somit zunächst die Eigenschaften der Organisationsebenen geklärt werden.

Daher sollte im Rahmen dieser Publikation anhand eines systematischen Literaturreviews herausgearbeitet werden, wie die Autor\*innen Organisationsebenen verstehen und welche Organisationsebenen für biologische Erklärungen relevant sind. Dazu wurden in einem ersten Schritt systematisch geeignete Journalartikel gesammelt und ausgewählt. Die so erhaltenen Artikel wurden in einem zweiten Schritt anhand der Qualitativen Inhaltsanalyse hinsichtlich der Fragestellungen analysiert. Die gebildeten Kategorien betreffen sowohl das Konzept der Organisationsebenen selbst, wie auch die Hinweise auf Schwierigkeiten von Lernenden mit den Organisationsebenen. Der Beitrag der Publikation besteht daher in der Klärung des Konzepts *Organisationsebenen* (Kapitel 10.2)

Die Fragestellungen von PUBLIKATION 2 lauten somit:

1. Wie beschreiben die Autor\*innen die Organisationsebenen?
2. Welche Organisationsebenen werden von den Autor\*innen genannt?
3. Wie beschreiben die Autor\*innen die Beziehung zwischen den verschiedenen Organisationsebenen?
4. Wie beschreiben die Autor\*innen die Herausforderungen, die diese Ebenen für den Biologieunterricht mit sich bringen?
5. Wie beschreiben die Autor\*innen den Nutzen dieser Ebenen für den Biologieunterricht?

### 4.2.3 PUBLIKATION 3: *Entwicklung der Zoom Map*

Eine Kernerkenntnis aus PUBLIKATION 2 ist, dass Lernende bei der Konstruktion von Erklärungen und bei der Vernetzung von Organisationsebenen Unterstützung brauchen. Daher war das Ziel von PUBLIKATION 3 die Entwicklung und Evaluation eines Unterstützungsangebots. Da grafische Lernwerkzeuge sich bereits in anderen Studien als nützlich zur Vernetzung von Konzepten erwiesen haben (Schwendimann & Linn, 2016), wurde im Rahmen dieser Publikation ein grafisches Lernwerkzeug zur Vernetzung von Organisationsebenen entwickelt: die Zoom Map. Für die Zoom Map wurden die Regeln der Concept Map adaptiert und die Organisationsebenen visuell durch Zoom-Kreise dargestellt.

In Vermittlungsversuchen wurde der Umgang der Lernenden mit der Zoom Map und die erstellten Zoom Maps betrachtet (Kapitel 10.3).

Die Fragestellungen von PUBLIKATION 3 lauten somit:

1. Wie können durch die Zoom Map Ebenen explizit dargestellt und vernetzt werden?
2. Wie verstehen die Lernenden die Zoom Map?
3. Welche Schwierigkeiten zeigen sich im Umgang mit der Zoom Map?

#### **4.2.4 PUBLIKATION 4: Evaluation der Zoom Map in Vermittlungsversuchen**

Der Schwerpunkt der PUBLIKATION 3 lag auf der Evaluation der Zoom Map. Dazu wurde die Zoom Map im Rahmen der Vermittlungsphase von Vermittlungsversuchen eingesetzt. Bei den Vermittlungsversuchen handelt es sich um Untersuchungen in kleinem Maßstab unter Laborbedingungen. Sie kombinieren eine Diagnose- und Vermittlungsphase. Zunächst konstruierten die Lernenden in der Diagnosephase Erklärungen zum Phänomen *welcher Blätter*. Dies ermöglichte die spätere Analyse der Lernausgangslage. In der darauffolgenden Vermittlungsphase interagierten die Schüler\*innen mit unserem Material und der Zoom Map. Untersucht wurde im Anschluss, inwiefern sich die Erklärungen der Lernenden vor und nach der Vermittlungsphase unterscheiden. Es wurde erwartet, dass die Lernenden durch die Zoom Map mehr Organisationsebenen in ihren Erklärungen berücksichtigen und vernetzen (Kapitel 10.4).

Die Fragestellungen von PUBLIKATION 4 lauten somit:

1. Welche Ebenen haben die Schüler\*innen vor und nach einer Vermittlungsphase, in der die Zoom Map eingesetzt wurde, einbezogen?
2. Wie erklären die Schüler\*innen das Phänomen vor und nach einer Vermittlungsphase, bei dem die Zoom Map zum Einsatz kam?

#### **4.2.5 PUBLIKATION 5: Biologische Komplexität und die Zoom Map**

Der Schwerpunkt dieser Publikation lag auf der Untersuchung biologischer Komplexität aus der Perspektive von Lehrenden und Lernenden. Wie in PUBLIKATION 2 herausgearbeitet wurde, besteht ein Kernaspekt bei der Erklärung biologischer Phänomene im Ebenenwechsel (Knippels, 2002). Auf der Grundlage der herausgearbeiteten Aspekte wurde erläutert, inwiefern die Zoom Map die Erklärung komplexer Phänomene und insbesondere den Ebenenwechsel unterstützen kann. Um zu untersuchen, wie Lernende mit und ohne die Zoom Map in ihren Erklärungen die Ebenen wechseln, wurden Vermittlungsversuche durchgeführt und analysiert. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Auswertung der Richtung des Ebenenwechsels. Es wurde analysiert, auf welcher Ebene die Erklärung beginnt und in welche Ebenen im Verlauf der Erklärung gewechselt wurde (Kapitel 10.5).

Die Fragestellungen von PUBLIKATION 5 lauten somit:

1. Was macht biologische Phänomene komplex?
2. Wie unterstützt die Zoom Map Lernende bei der Erklärung komplexer Phänomene?
3. In welche Richtung wechseln Lernende die Organisationsebenen mit und ohne die Zoom Map?

#### **4.2.6 PUBLIKATION 6: Praxisartikel zum Einsatz der Zoom Map**

Mit PUBLIKATION 6 sollte der Transfer zwischen Forschung und Praxis vollzogen werden. Auf Grundlage der empirischen Erkenntnisse stellt der Praxisartikel eine exemplarische



Unterrichtseinheit vor. Die Einheit ist entlang der Prinzipien des Jo-Jo-Lernens strukturiert und wird durch die Zoom Map unterstützt (Kapitel 10.6).

#### Box 4: Übersicht über die Fragestellungen der Publikationen 1-6

Publikation 1 Concept Mapping	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Welche Potentiale bietet das grafische Lernwerkzeug Concept Map für den Chemieunterricht?</li> <li>2. Wie kann Concept Mapping unterstützt werden?</li> </ol>
Publikation 2 Literaturanalyse	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wie beschreiben die Autor*innen die Organisationsebenen?</li> <li>2. Welche Organisationsebenen werden von den Autor*innen genannt?</li> <li>3. Wie beschreiben die Autor*innen die Beziehung zwischen den verschiedenen Organisationsebenen?</li> <li>4. Wie beschreiben die Autor*innen die Herausforderungen, die diese Ebenen für den Biologieunterricht mit sich bringen?</li> <li>5. Wie beschreiben die Autor*innen den Nutzen dieser Ebenen für den Biologieunterricht?</li> </ol>
Publikation 3 Entwicklung	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wie können durch die Zoom Map Ebenen explizit dargestellt und vernetzt werden?</li> <li>2. Wie verstehen die Schülerinnen und Schüler die Zoom Map?</li> <li>3. Welche Schwierigkeiten zeigen sich im Umgang mit der Zoom Map?</li> </ol>
Publikation 4 Evaluation	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Was macht biologische Phänomene komplex?</li> <li>2. Wie unterstützt die Zoom Map Lernende bei der Erklärung komplexer Phänomene?</li> <li>3. In welche Richtung wechseln Schülerinnen und Schüler die Organisationsebenen mit und ohne die Zoom Map?</li> </ol>
Publikation 5 Komplexität	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Was macht biologische Phänomene komplex?</li> <li>2. Wie unterstützt die Zoom Map Lernende bei der Erklärung komplexer Phänomene?</li> <li>3. In welche Richtung wechseln Schülerinnen und Schüler die Organisationsebenen mit und ohne die Zoom Map?</li> </ol>
Publikation 6 Praxisartikel	Wie kann eine Unterrichtseinheit unter Anwendung der Prinzipien des Jo-Jo-Lernens sowie der Zoom Map gestaltet werden?

# 5. Methoden

## 5.1 Studiendesign und Stichprobe

Auf Grund der unterschiedlichen Fragestellungen unterscheiden sich die Studiendesigns der Publikationen.

In PUBLIKATION 2 entsprach das Studiendesign dem einer systematischen Literaturanalyse. Als Stichprobe wurden N = 36 Fachartikel untersucht.

In PUBLIKATION 3 - 5 entsprach das Studiendesign dem eines Vermittlungsversuchs. Als Stichprobe wurden sechs Vermittlungsversuche mit N = 13 Schüler\*innen durchgeführt.

Die Datenauswertung erfolgte jeweils anhand der Qualitativen Inhaltsanalyse und wird in Kapitel 5.3.1 näher erläutert.

## 5.2 Datenerhebung

### 5.2.1 Systematisches Literaturreview

Der erste entscheidende Schritt bei einem systematischen Literaturreview ist die Zusammenstellung der zu untersuchenden Quellen. PUBLIKATION 2 folgte dabei der Methode von Rönnebeck et al. (2016) (Abbildung 8).

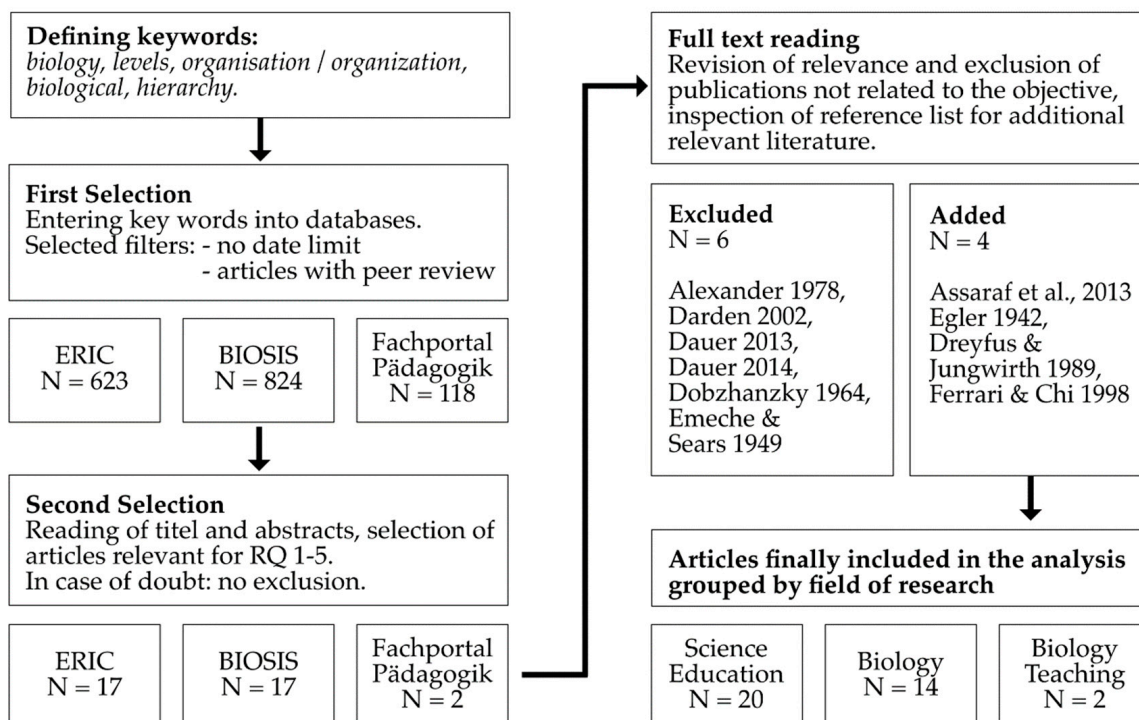


Abbildung 8: Flussschema der Recherche- und Auswahlprozesse (Schneeweiß & Gropengieser, 2019, p. 3)

Da das Konzept der Organisationsebenen sowohl unter Fachdidaktiker\*innen als auch unter Biolog\*innen diskutiert wird, wurden sowohl Artikel aus dem Bereich der Fachdidaktik wie auch Artikel aus biologischen Fachzeitschriften analysiert.



Wir wählten drei für die Fragestellung adäquate wissenschaftliche Datenbanken aus, die auf die untersuchten Bereiche spezialisiert sind: ERIC (für englischsprachige fachdidaktische Artikel), BIOSIS (für englische fachwissenschaftliche Artikel) und das Fachportal Pädagogik (für deutsche fachdidaktische Artikel). Ausgewählt wurden N=36 Artikel, die für die Forschungsfragen relevant waren.

### 5.2.2 Vermittlungsversuche

Die Beantwortung der Fragestellungen in PUBLIKATION 3 - 5 erforderte ein Studiendesign, das offen und flexibel ist und Interventionen zulässt (siehe Abbildung 9). Dies trifft auf Vermittlungsversuche zu. Vermittlungsversuche sind Interviews, bei denen eine kleine Anzahl von Schüler\*innen mit Unterrichtsmaterial interagiert (Komorek & Duit, 2004; Steffe & Thompson, 2000). Durch die Kombination einer Diagnose- und einer Unterrichtsphase sind Vermittlungsversuche ein wertvolles Instrument zur Untersuchung des Vorwissens, des Lernprozesses und der Lernergebnisse. Forschende sind dabei zu gleichen Teilen Interviewende und Lehrende. Die Analysen des Lernprozesses haben Implikationen für den realen Unterricht (Komorek & Duit, 2004; Steffe & Thompson, 2000).

Jeder unserer Vermittlungsversuche war in zwei Hauptabschnitte unterteilt: Die Diagnosephase und die Vermittlungsphase. In der Diagnosephase führten wir ein Interview mit den Teilnehmenden, um die Vorstellungen über das Phänomen zu erheben. Die dabei geäußerten Erklärungen des Phänomens nennen wir E1.

Anschließend folgte die Vermittlungsphase, in der die Teilnehmenden die Zoom Map sowie weiteres Material erhielten. Am Ende der Vermittlungsphase erklärten die Lernenden das Phänomen erneut, diese abschließende Erklärung nennen wir E2.

Die Interviews wurden in Bild und Ton aufgezeichnet. Die von den Lernenden erstellten Zoom Maps wurden eingescannt und anschließend digitalisiert.

In PUBLIKATION 3 wurde die Diskussion während des Konstruktionsprozesses der Zoom Map berücksichtigt. PUBLIKATION 4 befasste sich vor allem mit den Erklärungen E1 und E2 und untersucht, auf welchen Ebenen die Lernenden erklären. PUBLIKATION 5 nahm die Erklärungsrichtungen in den Fokus.

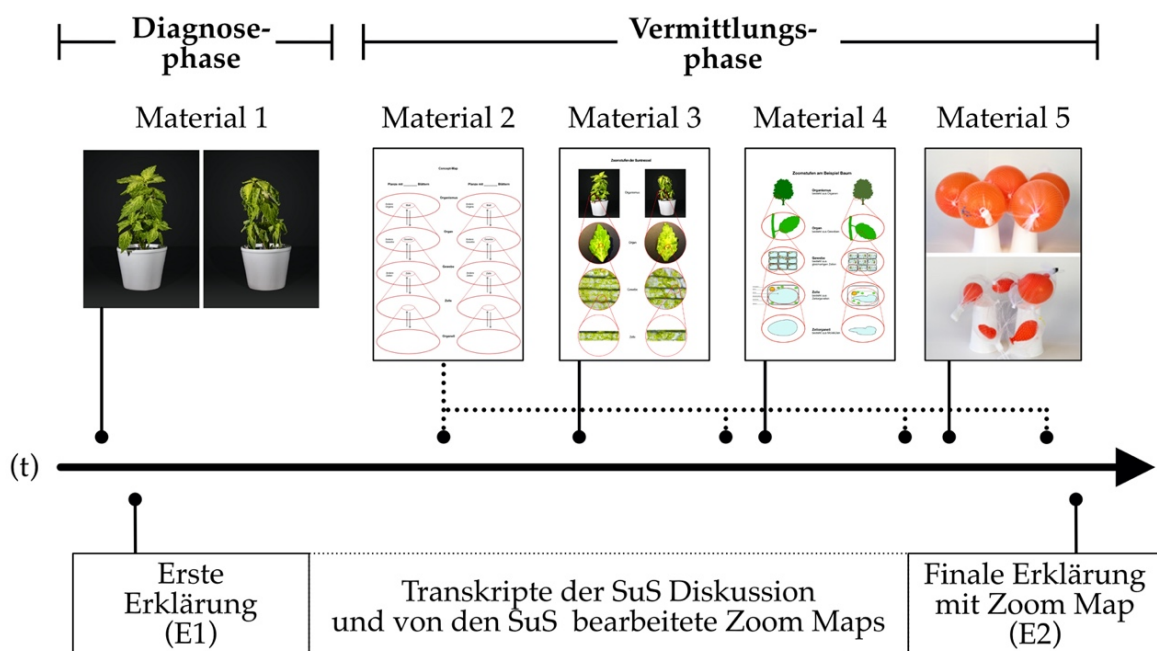


Abbildung 9: Das Studiendesign von PUBLIKATION 3 - 5 entspricht dem eines Vermittlungsversuchs

## 5.3 Datenauswertung

### 5.3.1 Computergestützte Qualitative Inhaltsanalyse

Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit sind individuelle Vorstellungen. In PUBLIKATION 2 waren diese die Vorstellungen von Wissenschaftler\*innen zu dem Konzept der Organisationsebenen in der Biologie. In PUBLIKATION 3 - 5 wurden Vorstellungen von Schüler\*innen zum Phänomen welkender Pflanzen untersucht. Passend zur Untersuchung dieses Gegenstands wurde eine qualitative Methode gewählt, die sich durch Problemzentrierung, Offenheit und Interaktivität auszeichnet: die Qualitative Inhaltsanalyse (Gropengießer, 2008).

Durch die Anwendung der Regeln der computergestützten Qualitativen Inhaltsanalyse wurden die Gütekriterien qualitativer Forschung hinsichtlich des systematischen und regelgeleiteten Vorgehens umgesetzt (Kuckartz, 2010; Mayring, 2010).

Das Vorgehen gliederte sich in drei Teilschritte: Transkription, Codierung und Kategorisierung (Abbildung 10).

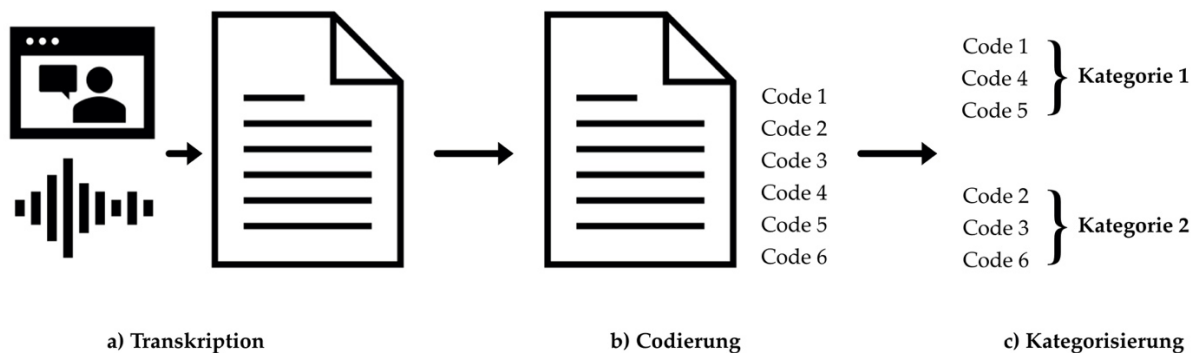


Abbildung 10: Vorgehen zur Datenanalyse anhand der Qualitativen Inhaltsanalyse nach (Kuckartz, 2010), eigene Darstellung basierend auf Born (2007, p. 137)

#### a) Transkription

Zur weiteren Analyse mussten in der Transkription zunächst die Audio- und Videodaten verschriftlicht werden. Bei der Transkription wurde das Material bereits zum ersten Mal reduziert, indem nur Passagen verschriftlicht wurden, die inhaltstragend waren. Im Kontext dieser Arbeit wurden also Passagen verschriftlicht, bei denen die Lernenden zum Beispiel das Phänomen erklärten oder Materialien diskutierten. Um Gesprächssituationen nachvollziehbarer zu machen, wurden Rezeptionssignale (z.B. "Mhm"), Pausen (z.B. (3) für drei Sekunden) und auffällige Betonungen (diese werden unterstrichen) oder relevante Gesten (in Klammern) eingefügt. Die Transkripte wurden mit Absatznummerierungen versehen, um später Textzitate verorten zu können (Kuckartz, 2010).

Zur Unterscheidung von Personen wurden die Lernenden nicht bei ihrem Klarnamen, sondern nur mit einer fortlaufenden Nummerierung gekennzeichnet, zum Beispiel wird Schüler 2 aus Interview 3 als I3S2 bezeichnet.

#### b) Codierung

Die Codierung wie auch die nachfolgenden Kategorisierungen wurden im Programm MaxQDA vorgenommen. Bei der Codierung wurden für die Fragestellung relevante Textstellen markiert und mit einem Namen, dem Code versehen (Kuckartz, 2010).

#### c) Kategorisierung

Durch den Vergleich aller Codes untereinander konnten Kategorien herausgebildet werden, denen die Codes zugeordnet werden können. Solche Kategorien konnten beispielsweise die Organisationsebenen umfassen, die in der jeweiligen Textstelle angesprochen werden (Kuckartz, 2010).

# 6.

# Ergebnisse und Diskussion

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Entwicklung und Evaluation eines Werkzeugs zur Unterstützung bei der Erklärung biologischer Phänomene. Grundlegend war die Einsicht, dass dabei Organisationsebenen explizit eingebunden werden müssen (vgl. Kapitel Jo-Jo Lernen). Erkenntnisse aus der Aufarbeitung des Stands der Forschung zu Concept Maps mündeten in der PUBLIKATION 1 und sind in Kapitel 2.3.3 zu finden.

Zur Beantwortung der Fragestellung wurde zunächst in einem systematischen Literaturreview das Konzept der Organisationsebenen betrachtet (PUBLIKATION 2). Aufbauend auf den Ergebnissen von PUBLIKATION 2 wurde in PUBLIKATION 3 bis 5 das grafische Lernwerkzeug *Zoom Map* entwickelt und evaluiert. In einem Praxisartikel (PUBLIKATION 6) wird der Transfer zwischen Theorie und Praxis vorgenommen.

Zentrale Ergebnisse der PUBLIKATIONEN 2-5 werden im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse des Praxisartikels fließen in Kapitel 8.2.2 ein. Ausführliche Ergebnisse und Diskussionen können in den jeweiligen Publikationen im Anhang nachvollzogen werden.

## 6.1 PUBLIKATION 1: Concept Mapping mit CmapTools

Bei PUBLIKATION 1 handelt es sich um einen unterrichtspraktischen Artikel, der aufgrund des Stands der Forschung zu Concept Mapping ein konkretes Unterrichtsszenario skizziert. Die Ergebnisse werden daher im Stand der Forschung dargestellt (siehe Kapitel 2.3).

## 6.2 PUBLIKATION 2: Literaturanalyse zu den Organisationsebenen

Zur Klärung des Konzepts *Organisationsebenen in der Biologie* wurde ein systematisches Literaturreview durchgeführt. Dabei konnte herausgearbeitet werden, dass die untersuchten Quellen selten Organisationsebenen allgemein beschreiben. Die Autor\*innen fokussierten vielmehr auf die Reihenfolge der Ebenen und emergente Eigenschaften. Bezüglich der Frage, welche Organisationsebenen ein konsistentes System bilden, konnte in den Daten kein Konsens festgestellt werden. Die Autor\*innen nannten unterschiedliche Kombinationen von bis zu 21 verschiedenen Ebenen, die von der Ebene der subatomaren Teilchen bis zur Ebene des Universums reichten.

### 6.2.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Bei der Untersuchung von fachdidaktischen Artikeln konnte ich zeigen, dass die Artikel je nach biologischem Phänomen unterschiedliche Organisationsebenen nennen.

Hinsichtlich der Eigenschaften der Organisationsebenen konnte ich herausarbeiten, dass vier verschiedenen Beziehungen zwischen den Organisationsebenen beschrieben werden:

1. die physiologische Beziehung
2. die Materie-Energie-Beziehung
3. die koevolutionäre Beziehung
4. die phylogenetische Beziehung

Anhand der Literatur konnte keine für die Vermittlung geeignete Beschreibung von Organisationsebenen herausgearbeitet werden. Daher schlug ich das Zoomen als geeignete Metapher für die Organisationsebenen vor, denn Zoomen ist Lernenden aus ihrem Alltag

bekannt. In der Zoom Map entsprechen dabei die Zoomstufen den Organisationsebenen. Der Ebenenwechsel entspricht dem Hinein- oder Hinauszoomen.

Auch Hinweise und Implikationen für die Vermittlung wurden untersucht. In den von mir analysierten Artikeln gehen die Autor\*innen nur selten auf die Herausforderungen der Organisationsebenen für Lernende ein. Eine Herausforderung, die ich identifizieren konnte, wurde von Assaraf et al. (2011) aufgezeigt: Studenten konzentrieren sich auf Systemkomponenten und nicht auf deren Interaktionen.

Ergänzend konnten ich feststellen, dass die Organisationsebenen wissenschaftliche Probleme strukturieren und Untersuchungen leiten können. Laut der analysierten Artikel ist dies der Hauptnutzen der Ebenen. Die Ebenen leiten die Untersuchungen hauptsächlich durch die Fokussierung auf das, was in Bezug auf die Forschungsfrage wesentlich ist.

### **6.2.2 Ein Ebenensystem für die Vermittlung**

Anhand der Ergebnisse des Reviews überarbeitete ich eine Darstellung von MacMahon et al. (1978). Dabei arbeitete ich die Metapher des Zoomens mit ein. Durch die explizit dargestellten Beziehungen zwischen den Ebenen wird deutlich, welche Ebenen für welche Fragestellungen herangezogen werden können (siehe Abbildung 11).

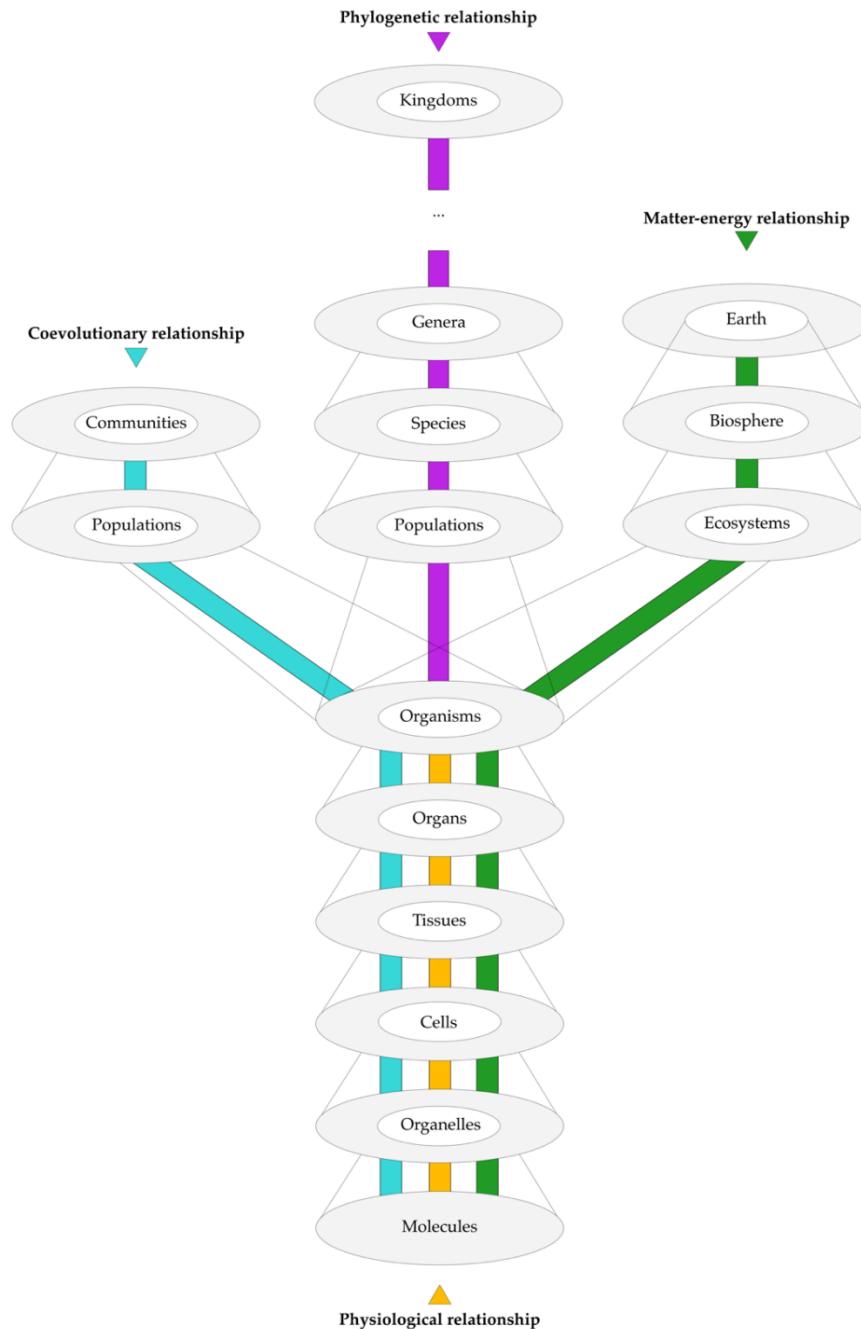


Abbildung 11: System von nach Beziehungen geordneten Organisationsebenen für Bildungszwecke auf der Grundlage von MacMahon et al. (1978). Das System macht die Beziehungen zwischen den Ebenen explizit und beinhaltet die Idee des Heranzoomens. Durch die Unterscheidung der Beziehungen wird deutlich, welche Ebenen für welches Phänomen geeignet sind (Schneeweiß & Gropengießer, 2019, p. 14).

### 6.2.3 Diskussion

Unsere Arbeit war die erste Übersichtsarbeit über Organisationsebenen in den Feldern Biologie und Biologiedidaktik. Die Ergebnisse können Lehrkräfte und Biologiedidaktiker\*Innen unterstützen, Organisationsebenen in ihren Unterricht zu integrieren. Dadurch können die Lernenden darin gefördert werden, Systemelemente, Prozesse und ihre Beziehungen untereinander zu identifizieren. Dies wird als wichtiger Schritt für Systemdenken angesehen (Tripto et al., 2016; Verhoeff et al., 2018).

Das in dieser Publikation entwickelte Ebenensystem (Abbildung 11) wurde in PUBLIKATION 3 zur Zoom Map weiterentwickelt.

### 6.3 PUBLIKATION 3: Entwicklung der Zoom Map

Auf Basis der Ergebnisse von PUBLIKATION 2 wurde in PUBLIKATION 3 ein grafisches Lernwerkzeug entwickelt und evaluiert, das die biologischen Organisationsebenen explizit macht.

#### 6.3.1 Funktionsprinzip der Zoom Map

Neben dem in PUBLIKATION 2 entwickelten Ebenensystem (Abbildung 11) waren Concept Maps (Novak & Cañas, 2006b) ein weiterer Ausgangspunkt der Entwicklung des grafischen Lernwerkzeugs. Diese haben sich bei der Unterstützung des Lernens bereits als fruchtbar erwiesen (Dauer et al., 2013; Fischer et al., 2002).

Concept Maps wurden um die Dimension des Zoomens erweitert und so die Zoom Map geschaffen. Die Regeln zur Erstellung einer Zoom Map (siehe Abbildung 12) wurden von Concept Maps adaptiert (Novak & Cañas, 2006b):

1. Die Organisationsebenen werden in Anlehnung an Eronen (2015) als Ellipsen dargestellt. Wenn man eine Struktur auf einer Ebene heranzoomt, erreicht man eine niedrigere Ebene. Wenn man herauszoomt, gelangt man auf eine höhere Ebene.
2. Jede Ellipse enthält die Wörter, die für bestimmte Konzepte stehen.
3. Linien können die Wörter oder die Ebenen mit Verbindungswörtern verbinden. Wenn man die Verbindungen liest, sollten die verbindenden Wörter einen Sinn ergeben.

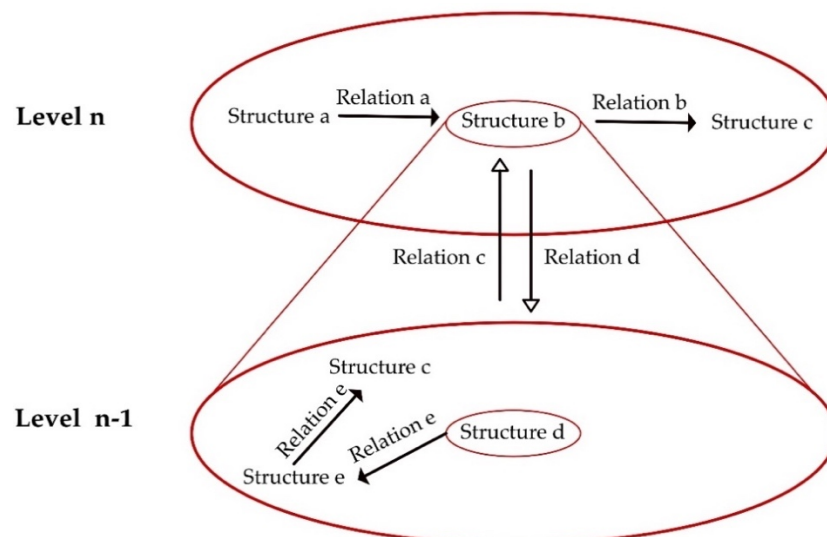


Abbildung 12: Allgemeine Darstellung des Funktionsprinzips einer Zoom Map. Dargestellt werden zwei Ebenen, Ebene n und die darunter liegende Ebene n-1 (Schneeweiß & Gropengießer, 2021, p. 6).

#### 5.3.2 Verknüpfung von Zoom Map und Jo-Jo-Lernen

Die Zoom Map ist ein grafisches Lernwerkzeug, welches die Organisationsebenen explizit macht, um dadurch vernetztes Denken nach den Prinzipien des Jo-Jo-Lernens zu unterstützen. Sie unterstützt die Konstruktion von Erklärungen nach den Prinzipien des Jo-Jo-Lernens (Jördens et al., 2016) auf folgende Weise:

1. **Die Zoom Map unterscheidet verschiedene Organisationsebenen**  
Die Zoom Map stellt die verschiedenen Ebenen als breite, übereinander gestapelte Ellipsenformen dar.
2. **Durch die Zoom Map können Komponenten und Prozesse eines Systems identifiziert und einer Ebene zugeordnet werden**  
Systemelemente können einer Systemebene zugeordnet werden, indem sie in die Ellipsenformen geschrieben werden.



3. **In der Zoom Map können Strukturen, die sich auf der gleichen Organisationsebene befinden, verknüpft werden (horizontale Kohärenz)**  
Die Systemelemente werden durch Wörter oder Phrasen verbunden, die Propositionen bilden, wenn die durch die Pfeile angegebene Leserichtung befolgt wird. Es gelten die Regeln für die Konstruktion von Concept Maps. Propositionen sollten sinnvoll sein.
4. **In der Zoom Map können Strukturen, die sich auf verschiedenen Organisationsebenen befinden, verknüpft werden (vertikale Kohärenz)**  
Der Nutzer der Zoom Map kann jede Struktur heranzoomen und dann das System auf einer niedrigeren Ebene ( $n - 1$ ) beschreiben, zum Beispiel wenn er von der Ebene des Gewebes auf die der Zelle zoomt. Auf der Ebene der Zelle kann der Nutzer wiederum Systemelemente zuordnen und verknüpfen. Die verschiedenen Ebenen können vertikal miteinander verbunden werden.
5. **Durch die Zoom Map kann explizit zwischen Ebenen gewechselt werden (Jo-Jo-Lernen)**  
Indem ein Phänomen zunächst auf allen Ebenen beschrieben wird, kann es mithilfe der Zoom Map umfassend erklärt werden.

### 6.3.3 Schwierigkeiten von Lernenden im Umgang mit der Zoom Map

In den Vermittlungsversuchen zeigte sich, dass Schüler\*innen einerseits in ihren Aussagen den Wert der Zoom Map erkannten und wertschätzten. Andererseits zeigten sich Schwierigkeiten bei der Konstruktion der Zoom Maps. Eine Hürde stellte die adäquate Zuordnung von Strukturen zu einer Organisationsebene dar. Andere Lernende erstellten Zoom Maps, die eher Mindmaps glichen, also die Verbindungen der Strukturen nicht explizit benannten. Hier zeigten sich Schwierigkeiten hinsichtlich der Regeln zur Erstellung von Zoom Maps (Schneeweiß & Gropengießer, 2021).

### 6.3.4 Diskussion

Die festgestellten Schwierigkeiten der Lernenden bei der Konstruktion der Zoom Maps können vor dem Hintergrund der Literatur erklärt werden. Ähnliche Schwierigkeiten wurden auch im Umgang mit Concept Maps festgestellt (Kinchin, 2001; Machado & Carvalho, 2020). Es ist anzunehmen, dass Zoom Maps wie auch Concept Maps Lernstrategien sind, die erst erlernt werden müssen (Sumfleth et al., 2010). Für Concept Maps werden bereits Trainingseinheiten erstellt und untersucht (Becker et al., 2021). Zukünftige Forschungsprojekte könnten ähnliche Trainingsmethoden auch für die Zoom Map untersuchen.

## 6.4 PUBLIKATION 4: Evaluation der Zoom Map in Vermittlungsversuchen

Zur Evaluation der Zoom Map wurden in dieser Publikation Vermittlungsversuche durchgeführt. Daran wurde untersucht, welche Ebenen die Schüler\*innen vor und nach einer Vermittlungsphase, in der die Zoom Map eingesetzt wurde, einbezogen und wie sie das Phänomen vor und nach der Vermittlungsphase erklärten.

### 6.4.1 Vergleich von Erklärungen vor und nach der Arbeit mit der Zoom Map

In der Analyse zeigte sich, dass nach dem Unterricht und der Arbeit mit der Zoom Map die Organisationsebenen, auf die sich die Lernenden bezogen, zunahm. Durch den Vergleich der Erklärungen zu Beginn und nach der Vermittlung konnten zwei Aspekte hervorgehoben werden: Bei der anfänglichen Erklärung erklärten die Lernenden hauptsächlich auf der Ebene von Organismus und Organ. Bei der abschließenden Erklärung verwendeten die Lernenden

mehr der relevanten niedrigeren Ebenen (Abbildung 13) und konnten so das Phänomen umfassender erklären.

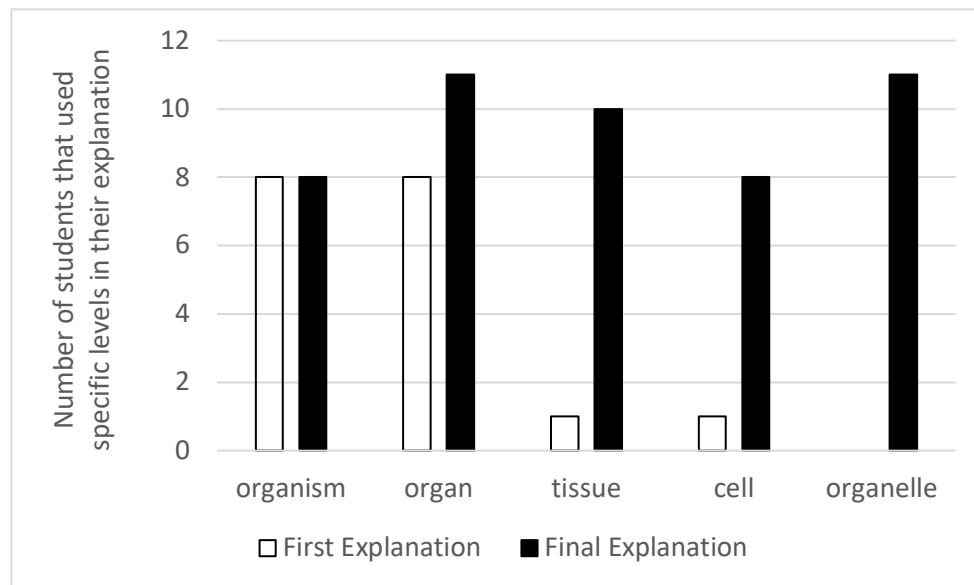


Abbildung 13: Anzahl der Lernenden, die die jeweilige Ebene in ihre Anfangserklärung (E1) oder der finalen Erklärung (E2) nutzten

Die inhärente Struktur der Zoom Map kann die Lernenden dazu motivieren, Ebenen zu wechseln und zu verknüpfen (vertikale Kohärenz), doch das eigentliche Erleben und Verstehen des Phänomens ergibt sich aus Beobachtungen, Zusatzmaterial, Modellen oder Experimenten. Infolgedessen haben die Lernenden Konzepte auf verschiedenen Organisationsebenen miteinander verknüpft (vertikale Kohärenz). Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Literatur über grafische Lernwerkzeuge. Von Lernenden erstellte grafische Lernwerkzeuge haben zu stärker vernetzten Vorstellungen geführt (Schwendimann & Linn, 2016) und sich als fruchtbar für das Lernen in den Naturwissenschaften und verwandten Bereichen erwiesen (Davidowitz & Rollnick, 2001).

In Interaktion mit der Zoom Map und dem Begleitmaterial konstruierten die Schülerinnen und Schüler tragfähige Erklärungen. Dies steht im Einklang mit Chi (2000). Ihr zufolge ist das Lernen effektiver, wenn die Schüler\*innen selbst Erklärungen erstellen, anstatt Erklärungen zu erhalten.

#### 6.4.2 Diskussion

Neben dem untersuchten Werkzeug, der Zoom Map, gibt es weitere Methoden, um Erklärungen über Organisationsebenen hinweg zu fördern. In der Ökologie können die Schüler\*innen Materie und Energie über die Organisationsebenen hinweg verfolgen (Düsing et al., 2018). Bei physiologischen Themen und insbesondere in der Genetik hat sich das Jo-Jo-Lernen als fruchtbare Methode erwiesen, um die Organisationsebenen zu verbinden (Knippels & Waarlo, 2018). Während die Regeln des Jo-Jo-Lernens (Knippels et al., 2005) den Lehrkräften ermöglichen, den Unterricht in Bezug auf die Organisationsebenen auszurichten und zu strukturieren, ist die Zoom Map ein Werkzeug, um die neuen Informationen zu strukturieren und mit den Ebenen in Verbindung zu bringen. Sie kann ein wertvolles Instrument zur Unterstützung des Jo-Jo-Lernens sein, da sie die Lernenden durch die Organisationsebenen führt und vertikale und horizontale Zusammenhänge fördert.

Zukünftige Arbeit sollte untersuchen, ob die Zoom Map auch für andere Phänomene und im naturwissenschaftlichen Unterricht fruchtbar sein kann.

## 6.5 PUBLIKATION 5: Biologische Komplexität und die Zoom Map

Die zentralen Erkenntnisse des Buchkapitels zur Zoom Map sind die theoretische Erweiterung der Darstellungsmöglichkeiten der Zoom Map sowie die Untersuchung der Erklärungsrichtungen der Lernenden.

### 6.5.1 Zoomarten der Zoom Map

Die Beschreibung der Zoom Map wird in PUBLIKATION 5 um verschiedene Darstellungsarten des Ebenenwechsels ergänzt. Die grundlegende Darstellung ist der einfache Wechsel (straight). Je nach Bedarf können auch Ebenen gegenübergestellt werden (juxtaposed) oder zwei Strukturen auf einer Ebene dargestellt werden (diverging). Dadurch können etwa horizontale Beziehungen zwischen verschiedenen Strukturen dargestellt werden (Abbildung 14).

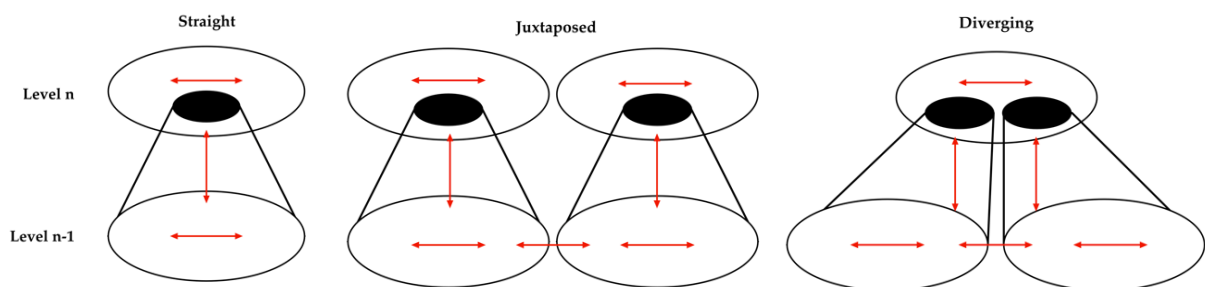


Abbildung 14: Der Ebenenwechsel kann in der Zoom Map prinzipiell auf verschiedene Arten dargestellt werden. Rote Pfeile stellen mögliche horizontale und vertikale Vernetzungen dar.

### 6.5.2 Richtung der Erklärungen vor und nach dem Arbeiten mit der Zoom Map

Dem Jo-Jo-Lernen zufolge sollten die Ebenen von höheren zu niedrigeren und wieder zurück durchlaufen werden (Knippels, 2002) (Kapitel 2.3.1). Da biologische Phänomene kontextabhängig sind, sollten Untersuchungen nicht nur abwärtsgerichtete Fragen, sondern auch aufwärtsgerichtete Fragen berücksichtigen (Allen & Hoekstra, 2015).

Um zu untersuchen, inwiefern die Zoom Map diesen Ebenenwechsel unterstützt, analysierte ich die Richtung der Ebenenwechsel in den Erklärungen der Proband\*innen.

Grundsätzlich identifizierte ich fünf Möglichkeiten, in den Erklärungen die Ebenen zu wechseln:

- O: Die Erklärung nur auf einer Ebene (One Level)
- D: Die Erklärung wechselt auf niedrigere Ebenen (Downwards)
- U: Die Erklärung wechselt auf höhere Ebenen (Upwards)
- D-U: Die Erklärung wechselt auf niedrigere und anschließend wieder auf höhere Ebenen
- U-D: Die Erklärung wechselt auf höhere und anschließend wieder auf niedrigere Ebenen

In unserer Analyse der Erklärungsrichtung konnte ich zeigen, dass sich die Richtung ihrer Erklärungen änderte (Tabelle 3). Während sich die vorherrschende erste Erklärung auf eine Ebene beschränkte (O), war die vorherrschende Richtung bei der letzten Erklärung aufwärtsgerichtet (U), und fünf von zwölf Lernenden verwendeten sogar in gewissem Maße das Jo-Jo-Prinzip (D-U und U-D).

Tabelle 3: Ebenenwechsel in den Erklärungen der Lernenden ohne Zoom Map (E1) und nach Vermittlung unter Einsatz der Zoom Map (E2), (O: One level only, D: Downwards, U: Upwards, D-U: Downwards-Upwards, U-D: Upwards-Downwards).

	Erste Erklärung (E1)					Finale Erklärung (E2)				
	O	D	U	D-U	U-D	O	D	U	D-U	U-D
S1				●				●		
S2	●									●
S3	●								●	
S4	●							●		
S5	●							●		
S6		●							●	
S7	●					no explanation				
S8				●					●	
S9		●							●	
S10	no explanation							●		
S11		●						●		
S12	●							●		
S13	●							●		

### 6.5.3 Diskussion

In unseren Vermittlungsversuchen gelang es den Lernenden, Zoom Maps zu erstellen, die die aufrechtstehenden und welken Blätter der Brennnessel erklärten, auch wenn die Qualität der Erklärungen unterschiedlich war. Die Arbeit mit einer Zoom Map führt nicht allein zu einer angemessenen Erklärung. Dazu müssen zusätzlich die dem Phänomen zugrundeliegenden Prinzipien oder Mechanismen den Lernenden zum Beispiel durch Modelle erfahrbar gemacht werden.

Dennoch kann die Zoom Map die Erklärung auf den relevanten Ebenen unterstützen, indem sie explizit angegebene Beziehungen zwischen den Entitäten auf den verschiedenen Ebenen verlangt und nach Verbindungen innerhalb und zwischen ihnen fragt. Selbst wenn nicht alle Aspekte einer Erklärung bekannt sind oder verstanden werden, können Lernende oder Lehrkräfte zumindest die Wissenslücken identifizieren. Voraussetzung dafür ist eine gründliche Bearbeitung der Zoom Map. Dann lassen sie sich leicht vergleichen und Diskussionen können sehr strukturiert Ebene für Ebene geführt werden.

## 6.6 PUBLIKATION 6: Praxisartikel zum Einsatz der Zoom Map

Die Transferleistung des Praxisartikels fließt in Kapitel 8.2 ein. Eine Diskussion der Ergebnisse entfällt aufgrund des Praxisbezugs des Artikels.

# 7.

# Fazit

## 7.1 Ausgangslage

Bei Erklärungen komplexer biologischer Phänomene müssen die Organisationsebenen berücksichtigt werden (Housh et al., 2022; Langlet, 2016). Lernenden fällt die Berücksichtigung schwer, dies zeigt sich in vielen biologischen Kontexten (z.B. Brown & Schwartz, 2009; Düsing et al., 2018; Jördens et al., 2016; Knippels, 2002; Wilensky & Resnick, 1999). In fachdidaktischen Aufsätzen wird daher gefordert, die Organisationsebenen in Vermittlungssituationen explizit zu machen, zu vernetzen und zu reflektieren (Hammann, 2019; Jördens et al., 2016; Knippels et al., 2005; Verhoeff, 2003) (Kapitel 2.3.1). Daher besteht ein Bedarf an einem Lernwerkzeug, welches es Lehrkräften und Lernenden ermöglicht, Organisationsebenen bei biologischen Erklärungen zu vernetzen und explizit reflektieren zu können. Dieses Vorhaben wird im nächsten Abschnitt in der bestehenden Literatur verortet.

## 7.2 Einordnung des Dissertationsvorhabens

Das Ziel der Arbeit war es, ein Lernwerkzeug zu entwickeln, welches Lernende dabei unterstützt, bei biologischen Erklärungen die Organisationsebenen mit einzubeziehen.

Für den Umgang mit komplexen Phänomenen wurden bereits verschiedenste Möglichkeiten beschrieben, um die Lernenden zu unterstützen. Diese sind einerseits Methoden zur Strukturierung von Unterrichtseinheiten wie etwa das Jo-Jo-Lernen, aber auch konkrete unterrichtliche Umsetzungen wie Simulationen, Modelle oder grafische Lernwerkzeuge (Assaraf & Knippels, 2022, im Druck). Zu diesen bereits bekannten Möglichkeiten, Lernende bei komplexen Phänomenen zu unterstützen, wird das Dissertationsvorhaben nachfolgend in Beziehung gesetzt.

Das Jo-Jo-Lernen ist eine etablierte Methode, Organisationsebenen im Unterricht mit einzubeziehen (Knippels et al., 2005). Kernelement des Jo-Jo-Lernens ist es, den Unterrichtsgang entlang der Organisationsebenen auszurichten. Im Bereich der Genetik sollte von der Ebene des Organismus startend die Organisationsebenen hinunter und anschließend wieder hinauf durchlaufen werden. Das Jo-Jo-Lernen ist somit eine Methode, um Unterricht auf lernförderliche Weise anhand der Organisationsebenen zu strukturieren (Knippels et al., 2005). Jedoch besteht auf Ebene einzelner Unterrichtsstunden weiterhin der Bedarf, die Organisationsebenen explizit mit den Lernenden zu reflektieren und Inhalte zu vernetzen (Hammann, 2019; Reinagel & Bray Speth, 2016). Die vorliegende Arbeit knüpft genau an dieser Stelle an.

Auch über Modellierungsaktivitäten zum Beispiel mit interaktiven Simulationen können komplexe Phänomene vermittelt werden. Ein Kernpotenzial der Simulationen sind die Darstellung von dynamischen Eigenschaften und insbesondere von Feedback-Loops (Assaraf & Knippels, 2022, im Druck; Yoon, 2022, im Druck).

Eine konkrete Unterstützung können grafische Lernwerkzeuge wie Concept Maps bieten. Concept Maps sind ein etabliertes Lernwerkzeug zur Vernetzung von Wissen (Dauer et al., 2013; Fischer et al., 2002; Novak & Cañas, 2006a). Vorangegangene Studien schlugen Concept Maps bereits zur Vernetzung von Organisationsebenen vor (Schwendimann & Linn, 2016). Das Dissertationsvorhaben baut auf diesen Ergebnissen auf und verfolgt das Ziel, die



Organisationsebenen noch weiter in den Fokus zu rücken und insbesondere die horizontalen und vertikalen Verknüpfungen zwischen den Ebenen explizit zu machen.

### 7.3 Beiträge der Publikationen zum Dissertationsvorhaben

Das Ziel der Arbeit war es, ein Lernwerkzeug zu entwickeln, welches Lernende dabei unterstützt, bei komplexen biologischen Erklärungen die Organisationsebenen mit einzubeziehen. Die Bearbeitung dieses Vorhaben erfolgte im Rahmen von sechs Publikationen. Um zu erläutern, wie sich die zentralen Ergebnisse in die bestehende Literatur einfügen, werden die Beiträge der einzelnen Publikationen zum Dissertationsvorhaben zusammengefasst (vgl. Kapitel 4).

Concept Maps sind in den Naturwissenschaften bereits ein etabliertes Lernwerkzeug zur Vernetzung von Wissen (Brandstädter et al., 2012; Dauer et al., 2013; Fischer et al., 2002; Novak & Gowin, 1984). Daher wurde in PUBLIKATION 1 eine unterrichtliche Einbettung vorgestellt, die die Einführung, Übung und Nutzung von Concept Maps am Thema Säuren und Basen vorstellt.

Eine weitere Grundlage für das Dissertationsvorhaben wurde in PUBLIKATION 2 geschaffen. Denn obwohl viele fachdidaktische und fachbiologische Artikel sich auf das Konzept beziehen, gibt es keine breite Einigkeit hinsichtlich der Art und Eigenschaften der Ebenen (Eronen & Brooks, 2018). Anhand einer systematischen Literaturanalyse wurde das Konzept der Organisationsebenen untersucht und ausgeschärft.

Die Erkenntnisse von PUBLIKATION 1 und 2 mündeten in der Entwicklung der Zoom Map, einem grafischen Lernwerkzeug, das auf den Regeln des Concept Mapping basiert und Organisationsebenen visuell explizit macht. Das Zoomen wird dabei als Leitmotiv grafisch umgesetzt. Das neue grafische Lernwerkzeug wurde in PUBLIKATION 3 erstmals vorgestellt und theoriebasiert begründet. Als eine erste explorative Evaluation wurden in Vermittlungsversuchen einerseits die Interaktionen von Lernenden mit der Zoom Map und andererseits die von Lernenden ausgefüllten Zoom Maps untersucht.

In PUBLIKATION 4 wurde der Einsatz der Zoom Map in Vermittlungsversuchen evaluiert. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf den Erklärungen, die die interviewten Lernenden vor und nach der Vermittlung unter Einsatz der Zoom Map abgaben. Insbesondere wurde untersucht, auf welchen Ebenen die Lernenden erklären.

Um der Fragestellung nachzugehen, inwiefern die Zoom Map den Ebenenwechsel im Rahmen des Jo-Jo-Lernens unterstützen kann, wurde in PUBLIKATION 5 die Erklärungsrichtung der Lernenden betrachtet.

Mit PUBLIKATION 6 wurde der Wissenstransfer in die Praxis geleistet. Anhand einer exemplarischen Unterrichtsreihe wurde der Einsatz der Zoom Map dargestellt.

Zentrale Ergebnisse dieser Publikationen werden im nächsten Abschnitt in den Stand der Forschung eingeordnet.

### 7.4 Einordnung zentraler Ergebnisse der Publikationen

#### 7.4.1 PUBLIKATION 1 und 6

Bei PUBLIKATION 1 und 6 handelt es sich um Praxisartikel. Daher können keine Forschungsergebnisse in die bestehende Literatur eingeordnet werden.

#### 7.4.2 PUBLIKATION 2

Im Rahmen von PUBLIKATION 2 konnte ich herausarbeiten, dass Autor\*innen, je nach Fachgebiet, unterschiedliche Organisationsebenen nennen. Damit wird die These gestützt, dass Ebenen phänomenspezifisch verwendet werden (MacMahon et al., 1978; Novikoff, 1945).



Weiterhin deckt sich dieser Befund mit der von MacMahon et al. (1978) vorgeschlagenen Strukturierung der Organisationsebenen nach den vier verschiedenen Beziehungen, die zwischen den Organisationsebenen bestehen können: physiologische Beziehung, Materie-Energie Beziehung, evolutionäre Beziehung, phylogenetische Beziehung.

Auf Basis der analysierten Literatur wurde ein Ebenensystem (Abbildung 11) aufgestellt. Damit wurde ein erster Schritt auf dem Weg zu einem Konsens in Bezug auf die Organisationsebenen vorgenommen.

Um Organisationsebenen lernförderlich im Unterricht zu berücksichtigen, war darüber hinaus eine lernförderliche Metapher für die Organisationsebenen und den Ebenenwechsel nötig (Gropengießer, 2007b; Lakoff & Johnson, 1980). Auf der Grundlage der in der Literatur beschriebenen Eigenschaften von Organisationsebenen, schlug ich die Metapher des *Zoomens* für den Ebenenwechsel und *Zoomstufen* für die Organisationsebenen vor. Dies ist die erste explizite Beschreibung einer lernförderlichen Metapher für die Organisationsebenen. Auch wenn diese Metapher nicht explizit benannt wird, gibt es Hinweise darauf, dass Autor\*innen Organisationsebenen mit dieser Metapher verstehen. Dies zeigt sich beispielsweise in Abbildungen der Organisationsebenen, bei denen mit Darstellungen optischer Vergrößerung (= zoomen) gearbeitet wird (Eronen, 2015). Auch Düsing et al. (2019, p. 10) verwenden den Ausdruck „Zoom-in“ (heranzoomen), um den Ebenenwechsel bei der Verfolgung von Materie in Stoffkreisläufen zu beschreiben.

#### 7.4.3 PUBLIKATION 3

Basierend auf den Ergebnissen von PUBLIKATION 1 und PUBLIKATION 2 wurde in PUBLIKATION 3 die Zoom Map als neues grafisches Lernwerkzeug vorgestellt. Dieses vereint die Vorteile von Concept Maps mit der expliziten Darstellung von Organisationsebenen durch die Metapher des Zoomens.

Ein anderes grafisches Lernwerkzeug für den Bereich der Evolution und Genetik sind Causal Maps. Causal Maps sind ebenfalls spezialisierte Concept Maps. Der namensgebende Schwerpunkt liegt hier auf der Darstellung von kausalen Zusammenhängen. (Hanisch & Eirdosh, 2020; Jamieson & Radick, 2017). Hanisch and Eirdosh (2020, p. 14) markieren in ihrem Ansatz ebenfalls verschiedene Ebenen, diese nennen sie jedoch „causal domains“. Unter den kausalen Domänen verstehen sie Gene, Körper, Gehirn, Verhalten, Umweltfaktoren, soziales Umfeld und Wissen. Die Domänen entsprechen somit nicht den Organisationsebenen.

Im Unterschied zu Causal Maps werden bei Zoom Maps vor allem Strukturen als Knotenpunkte und Prozesse als Relationen eingetragen. Somit werden Struktur-Funktionsbeziehungen in Systemen in den Blick genommen.

Für den Chemieunterricht gibt es ein ähnliches grafisches Lernwerkzeug zur Verknüpfung von Struktur-Eigenschaftsbeziehungen (Meijer, 2011). Der Fokus dieses grafischen Lernwerkzeugs liegt darauf, problemorientierte Untersuchungen anzuleiten, nicht jedoch in der Darstellung der Ergebnisse.

Die Analyse der durchgeführten Vermittlungsversuche fokussierte auf die Schwierigkeiten der Lernenden im Umgang mit der Zoom Map. So äußerten zum einen einige Schüler\*innen Probleme bei der Zuordnung von Strukturen zu bestimmten Organisationsebenen. Zum anderen hielten sich nicht alle Lernenden an die Regeln zur Anfertigung der Zoom Maps und beschrifteten die Relationen nicht. Ihre Zoom Maps ähnelten daher Mind Maps.

Schwierigkeiten wie diese sind bei der Nutzung eines neuen Lernwerkzeugs erwartbar. In ähnlicher Weise stellen auch Sumfleth et al. (2010) Schwierigkeiten bei der Nutzung von Concept Maps fest.



#### 7.4.4 PUBLIKATION 4 und 5

Die Evaluation der Zoom Map in PUBLIKATION 4 und PUBLIKATION 5 zeigte, dass das Lernwerkzeug Zoom Map Lernende unterstützen kann und sie dazu anleitet, in ihren Erklärungen Organisationsebenen zu berücksichtigen.

Insbesondere zeigte sich, dass Lernende nach der Vermittlung mit der Zoom Map in ihren Erklärungen mehr Organisationsebenen ansprachen. Die Erklärungsrichtung veränderte sich von Erklärungen, die vornehmlich auf einer Ebene blieben, hin zu Erklärungen, die Ebenenwechsel nach oben oder unten berücksichtigten (Tabelle 3).

Die Lernenden wechselten somit die Ebenen, wie es das Konzept des Jo-Jo Lernens fordert (Knippels, 2002; van Mil et al., 2013). PUBLIKATION 5 ist die erste Untersuchung der Richtung des Ebenenwechsels in Erklärungen von biologischen Phänomenen.

Dass die Zoom Map Lernende bei der Organisation und Vernetzung ihrer Erklärungen unterstützt, steht im Einklang mit der Literatur zu Concept Mapping und grafischen Lernwerkzeugen: Concept Maps unterstützen Lernende durch die Externalisierung von Vorstellungen, die Vernetzung und Reorganisation von Wissen (Brandstädter et al., 2012; Dauer et al., 2013; Fischer et al., 2002; Novak & Gowin, 1984). Schwartz and Brown (2013) ergänzen, dass Concept Maps bei der Vernetzung von Organisationsebenen unterstützen könnten.

Der Gesamtcharakter des Dissertationsvorhabens ist durch den Bezug auf nur ein biologisches Phänomen exemplarisch und explorativ. Die Erkenntnisse lassen sich daher nur in Bezug auf das biologische Phänomen des Welkens generalisieren. Das Dissertationsvorhaben kann daher als Ausgangspunkt für aufbauende Forschungsvorhaben dienen, wie im nächsten Abschnitt erläutert wird.



# 8.

# Implikationen und Ausblick

Im vorliegenden Kapitel werden die Erkenntnisse der Arbeit aus der Perspektive von Forschung und Biologieunterricht betrachtet. Dabei werden Implikationen für den jeweiligen Bereich skizziert und mögliche Anschlussfragestellungen vorgeschlagen.

## 8.1 Perspektive der Forschung

Aus der Perspektive der Forschung werden die Bedeutungen der gewonnenen Erkenntnisse und insbesondere Anschlussfragestellungen erläutert. Dabei werden zunächst die Erkenntnisse zu den Organisationsebenen und anschließend die Erkenntnisse zur Zoom Map beleuchtet.

### 8.1.1 Erkenntnisse zu den Organisationsebenen

Bisher gab es keinen Konsens über Organisationsebenen (Eronen & Brooks, 2018) und keine strukturierte Untersuchung der Verwendung der Organisationsebenen in wissenschaftlichen Publikationen. Die Ergebnisse von PUBLIKATION 2 und insbesondere das vorgestellte Ebenensystem (Abbildung 11) stellen daher einen ersten Schritt in Richtung eines Konsenses in Bezug auf die Organisationsebenen dar.

In meinem Dissertationsvorhaben habe ich analysiert, wie Autor\*innen die Organisationsebenen beschreiben. Basierend auf den gebildeten Kategorien könnte die weitere Forschung analysieren, wie sich Autor\*innen Organisationsebenen und ihre Eigenschaften vorstellen.

Nicht nur zu den Vorstellungen von Autor\*innen, sondern auch von Lernenden über Organisationsebenen gibt es bisher noch keine umfangreichen Erkenntnisse. Ein Plakat von Lutze and Zabel (2014) veröffentlicht zwar erste vorläufige Ergebnisse, dennoch bedarf es hier weiterer Untersuchungen.

Daneben sollten auch die Vorstellungen von Lehrkräften in den Blick genommen werden, denn auch angehende Lehrkräfte habe Schwierigkeiten im Umgang mit komplexen biologischen Phänomenen (Taşdelen & Güven, 2021).

### 8.1.2 Erkenntnisse zur Zoom Map

#### Vermittlung

Bei der Konstruktion von Erklärungen zu komplexen biologischen Phänomenen zeigen sich über viele Kontexte und Studien hinweg Lernschwierigkeiten im Zusammenhang mit den Organisationsebenen (Kapitel 2.1). Daher besteht ein Bedarf an Methoden und Lernwerkzeugen, um Lernenden die Vernetzung und Reflexion von Organisationsebenen zu ermöglichen (Kapitel 2.3). Trotz bestehender Lernmethoden, wie zum Beispiel dem Jo-Jo-Lernen (Knippels, 2002), müssen die Organisationsebenen zusätzlich explizit angesprochen und vernetzt werden (Hammann, 2019). Mit der Zoom Map wurde in PUBLIKATION 3 ein neues grafisches Lernwerkzeug vorgestellt, das es Lehrenden und Lernenden ermöglicht, Konzepte den Organisationsebenen zuzuordnen, diese zu vernetzen und anschließend die Verknüpfungen zu reflektieren. Die in PUBLIKATIONEN 4 und 5 durchgeführten Evaluationen zeigten, dass Lernende mit der Zoom Map Erklärungen konstruierten, die mehr



Organisationsebenen berücksichtigten. Ihnen gelangen somit Erklärungen über die Organisationsebenen hinweg.

Die Evaluation wurde anhand eines pflanzenphysiologischen Kontexts durchgeführt. Zukünftige Untersuchungen sollten sich darauf konzentrieren, ob die Zoom Map auch für andere Phänomene und in natürlichen Umgebungen im naturwissenschaftlichen Unterricht nützlich sein kann.

Neben der Zoom Map gibt es weitere Lernwerkzeuge, die es Lernenden ermöglichen sollen, komplexe Phänomene umfassend zu erklären. Im Bereich der Ökologie wird vorgeschlagen, Atome in Stoffkreisläufen über die Organisationsebenen hinweg zu verfolgen (Düsing et al., 2018). Auch interaktive Simulationen können Lernenden Erfahrungen stiften, durch die sie die Phänomene angemessener erklären können (Assaraf & Knippels, 2022, im Druck; Eilam & Omar, 2022, im Druck; Yoon, 2022, im Druck).

Diese Vorgehensweisen könnten durch die Zoom Map unterstützt werden, indem die Lernenden ihre gewonnenen Erkenntnisse strukturiert festhalten. Mit der Kombination dieser Lernmethoden können sich zukünftige Projekte beschäftigen.

### *Training*

Ähnlich wie bei der Erstellung von Concept Maps ist das Erlernen der Erstellung einer Zoom Map wichtig. In Bezug auf Concept Mapping haben Studien die Vorteile von Concept Map Training hervorgehoben (Becker et al., 2021). Daher sollten sich nachfolgende Untersuchungen auf die Wirkung von Zoom Map Trainings- bzw. Übungsphasen konzentrieren.

### *Diagnose*

In der Zoom Map zeigen sich wie in Concept Maps die individuellen Denkgebäude der Lernenden. Concept Maps werden daher nicht nur zur Vermittlung, sondern auch als Diagnosewerkzeug eingesetzt (Akçay, 2016; Bergan-Roller et al., 2018; Kinchin et al., 2019; Plotz, 2019; Rebich & Gautier, 2005). Die Zoom Map könnte, im Unterschied zur Concept Map, die Diagnose von Lernschwierigkeiten in Bezug auf Organisationsebenen ermöglichen. Mit der Zoom Map könnten fehlende Verknüpfungen, Verwechslung von Ebenen und Erklärungen nur auf einer Ebene einfacher diagnostiziert werden. Dazu sind jedoch weitere Erkenntnisse zum Einfluss der Zoom Map auf Lernende nötig, um so eine ähnliche Validitätsüberprüfung vorzunehmen, wie sie Plotz (2019) für Concept Maps durchführt.

### *Feedback*

Für Lehrende stellt sich die Frage, wie sie mit den Zoom Maps umgehen sollen, die von den Lernenden erstellt werden. Der Blick auf die Empirie zu Concept Maps liefert erste Ansätze, da dort ähnliche Fragestellungen bearbeitet wurden (Kinchin, 2001). Einerseits können Scoring-Methoden angewendet werden, um die Qualität der Vernetzung zu bestimmen. Diese Scores können zu Vergleichen zwischen Concept Maps verschiedener Personen oder von ursprünglichen und weiterentwickelten Concept Maps herangezogen werden (Novak & Gowin, 1984). Der Ansatz, höchst individuelle Konstrukte wie Concept Maps auf Zahlenwerte zu reduzieren, findet jedoch auch deutliche Kritik: „Die Benotung einer Concept Map kann die Einstellung der Schüler zu ihr verändern und so ihr Potenzial zur Förderung des Lernens gefährden“ (White & Gunstone, 1992, p. 28, übersetzt). Dies ist eine Position, die von anderen Autor\*innen unterstützt wird (Caine & Caine, 1994; Kinchin, 2001).

Eine Alternative zur Bewertung ist es, mit den vorhandenen Concept Maps oder Zoom Maps weiterzuarbeiten und diese zu reflektieren. Die Lehrperson oder andere Lernende können anhand von Reflexionsfragen zur Überarbeitung anregen. Beispiele für Reflexionsfragen sind nach Kroeze et al. (2021):



- Besteht zwischen diesen beiden Elementen eine Verbindung?
- Ist diese Verbindung notwendig?
- Ist dieses Element notwendig für die Erklärung des Phänomens?

Für Concept Maps bestehen bereits erste Lernumgebungen, die auf Basis von Musterlösungen Lernenden automatisches Feedback geben können (Kroeze et al., 2021). Zukünftige Forschungsprojekte könnten ähnliche Umgebungen auch für Zoom Maps schaffen.

## 8.2 Perspektive des Biologieunterrichts

Mit dem Blick einer Lehrkraft sollen im Folgenden die Implikationen der Ergebnisse dieses Dissertationsvorhabens für den Biologieunterricht dargestellt werden. Aus der Perspektive des Unterrichts ergeben sich auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse Leitlinien, die bei der Planung von Unterricht berücksichtigt werden sollten (Kapitel 8.2.1). Um diese Leitlinien zu illustrieren, wird auf Basis der PUBLIKATION 6 in Kapitel 8.2.2 eine beispielhafte Unterrichtseinheit skizziert.

### 8.2.1 Leitlinien

*Unterricht sollte anhand des Jo-Jo-Lernens strukturiert werden*

Der Umgang mit komplexen Phänomenen ist schwierig für Lernende. Insbesondere die vertikale und horizontale Vernetzung der Organisationsebenen stellt eine Herausforderung dar (Kapitel 2.1). Dies zeigte sich nicht nur bei der Analyse der bestehenden Literatur in PUBLIKATION 2, sondern auch bei der Durchführung eigener Vermittlungsversuche (Kapitel 6). Die Schwierigkeiten der Lernenden sollten daher bei der Planung und Durchführung von Biologieunterricht berücksichtigt werden. Bei der Planung kann anhand des Jo-Jo-Lernens (Knippels, 2002) ein lernförderlicher Unterrichtsgang entwickelt werden, der die Organisationsebenen durchschreitet. Zusätzlich sollten die Organisationsebenen explizit gemacht und eingeführt werden (Hammann, 2019).

*Organisationsebenen sollten eingeführt werden*

In PUBLIKATION 2 wurde ein Ebenensystem für Biologieunterricht vorgeschlagen (Abbildung 11), welches als Grundlage für die explizite Einführung der Organisationsebenen dienen kann. Im Unterricht könnte die explizite Reflexion gelingen, indem zunächst die Organisationsebenen zu Beginn einmal eingeführt werden. Dabei kann die in PUBLIKATION 2 vorgestellte Metapher des Zoomens angewendet werden. Organisationsebenen können als Zoomstufen und der Ebenenwechsel als *reinzoomen* oder *rauszoomen* eingeführt werden. Anschließend kann das Ebenensystem dann zum Beispiel als Plakat im Fachraum aufgehängt werden. Im Unterrichtsgespräch kann so immer wieder auf die Organisationsebenen verwiesen werden, um Erklärungen auszuscharfen und die Organisationsebenen zu reflektieren.

Je nach biologischem Thema oder Phänomen können dabei unterschiedliche Beziehungen eine Rolle spielen, zum Beispiel Materie-Energie-Beziehungen bei ökologischen Phänomenen.

*Lernende sollten bei der Konstruktion von Erklärungen mit der Zoom Map unterstützt werden*

Bei der Erarbeitung biologischer Phänomene können und sollten Lernende unterstützt werden. Im Rahmen des vorliegenden Dissertationsvorhabens wurde das neue Lernwerkzeug Zoom Map entwickelt, welches Lernende bei der Verknüpfung der Organisationsebenen strukturiert anleitet. Die Zoom Map ist ein Lernwerkzeug, das die Organisationsebenen darstellt. Auf der Zoom Map werden Strukturen verortet und untereinander vernetzt. Dadurch leitet die Zoom Map dazu an, Phänomene auf allen Ebenen zu erklären.



### *Zoom Maps sollten reflektiert werden*

Die von Lernenden erstellten Zoom Maps sollten reflektiert und überarbeitet werden. Hinweise, wie dies gelingen kann, lassen sich aus der Literatur zu Concept Maps ableiten. Die Lehrperson oder andere Lernende können anhand von Reflexionsfragen zur Überarbeitung anregen. Beispiele für Reflexionsfragen sind nach Kroeze et al. (2021):

- Besteht zwischen diesen beiden Elementen eine Verbindung?
- Ist diese Verbindung notwendig?
- Ist dieses Element notwendig für die Erklärung des Phänomens?

### *Der Umgang mit der Zoom Map muss geübt werden*

Wie andere Lernmethoden, zum Beispiel Concept Mapping (Becker et al., 2021; Sumfleth et al., 2010), muss die Arbeit mit der Zoom Map erst geübt und trainiert werden.

Concept Mapping wird beispielsweise in Niedersachsen im Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe dem Kompetenzbereich Kommunikation zugeordnet und ist somit abiturrelevant (Niedersächsisches Kultusministerium, 2017, p. 27). Es bietet sich an, zunächst mit Concept Mapping einzusteigen, ein mögliches Unterrichtsszenario wird in PUBLIKATION 1 beschrieben. Aufbauend auf den Concept Maps können die Lernenden dann an Zoom Maps herangeführt werden, ein beispielhaftes Vorgehen wird in PUBLIKATION 6 dargestellt.

### *Die Zoom Map kann mit anderen Methoden kombiniert werden*

Die Zoom Map kann auch herangezogen werden, um andere Methoden im Umgang mit komplexen Systemen zu unterstützen. Dazu gehört beispielsweise das Verfolgen von Atomen in Stoffkreisläufen (Düsing et al., 2018). Auch Erkenntnisse, die sich Lernende anhand von interaktiven Simulationen erarbeiten können (Assaraf & Knippels, 2022, im Druck; Eilam & Omar, 2022, im Druck; Yoon, 2022, im Druck), könnten durch eine Zoom Map strukturiert festgehalten werden.

Um die Umsetzung dieser Leitlinien zu illustrieren, wird im nächsten Kapitel eine beispielhafte Umsetzung vorgestellt.

## **8.2.2 Praktische Umsetzung**

Die in PUBLIKATION 6 vorgestellte Einheit wird hier in Kürze skizziert, um Lehrenden die Einbindung der Zoom Map in den Unterricht vorzustellen. Ein vollständiger Abdruck der Publikation findet sich in Kapitel 10.

### *Exemplarische Einheit*

Als exemplarischer Kontext wurde die Zellbiologie der 11. Klasse gewählt. Die Unterrichtsreihe ist dabei nach den Prinzipien des Jo-Jo-Lernens strukturiert. Sie beginnt auf der Ebene des Phänomens und bezieht in den darauffolgenden Stunden immer tiefere Organisationsebenen mit ein.

In der ersten Doppelstunde werden die Organisationsebenen sowie die Methode der Zoom Map eingeführt. Anschließend konstruieren die Lernenden auf der Basis ihrer Vorstellungen eine Erklärung in Form einer Concept Map. Diese wird dann im Verlauf der Einheit immer wieder überarbeitet und reflektiert (Tabelle 4).



Tabelle 4: Exemplarische Unterrichtseinheit

Stunden	Thema und Leitfrage	Kurzbeschreibung	Lernziele (Niedersächsisches Kultusministerium, 2017)
1/2	<b>Einstieg und Diagnose</b> Warum hängen die Blätter der Pflanze? (Ebene des Organismus)	Die SuS stellen ihre Erklärung des Phänomens als Zoom Map dar.	Die SuS strukturieren komplexe biologische Zusammenhänge. (KK 2.3.)
3/4	<b>Salat Experiment</b> Warum wird Salat mit Dressing welk? (Ebene des Organs)	Die SuS planen Versuche mit Salat und Zutaten für Dressing und führen diese durch.	Die SuS wenden den naturwissenschaftlichen Gang der Erkenntnisgewinnung auf neue Probleme an. (EG 4.1)
5/6	<b>Zwiebelzelle</b> Warum wird Salat mit Dressing welk? (Ebene der Gewebe und Zellen)	Die SuS führen Versuche zu Plasmolyse und Deplasmolyse von Zwiebelzellen unter dem Mikroskop durch und beschreiben die Veränderungen der Vakuole.	Die SuS mikroskopieren und skizzieren biologische Präparate (Plasmolyse). (EG. 2.2)
7/8	<b>Aufbau der Biomembran 1</b> Woraus besteht die Biomembran? (Ebene der Moleküle)	Die SuS führen Versuche mit Rotkohl durch und begründen anhand des Experiments, aus welchen Grundbausteinen Biomembranen bestehen.	Die SuS erläutern Struktur-Funktionsbeziehungen auf der Ebene von Molekülen modellhaft (Phospholipide). (FW 1.2)
9/10	<b>Aufbau der Biomembran 2</b> Wie ist die Biomembran aufgebaut? (Ebene der Moleküle)	Die SuS analysieren die Befunde von Gorter und Grendel und zeichnen eine Zellmembran, die zu den Versuchsergebnissen passt.	Die SuS erläutern modellhaft den Aufbau von Biomembranen (Flüssig-Mosaik-Modell). (FW 2.2)
11/12	<b>Aufbau der Biomembran 3</b> Mit welchen Modellen kann man den Aufbau der Biomembran darstellen? (Ebene der Moleküle)	Die SuS vergleichen Sandwich-Modell und Flüssig-Mosaik-Modell und überprüfen diese anhand von empirischen Befunden.	Die SuS erläutern biologische Sachverhalte mithilfe von Modellen. (EG 3.1) Die SuS wenden Modelle an, erweitern sie und beurteilen die Aussagekraft und Gültigkeit (Flüssig-Mosaik-Modell). (EG 3.2)
13/14	<b>Osmose</b> Wie kommt das Wasser durch die Biomembran? (Ebene der Moleküle)	Die SuS erläutern Osmose als Stoffaustausch durch eine permeable Membran auf Stoffebene und Teilchenebene anhand eines Versuchs und einer Simulation.	Die SuS unterscheiden bei der Erläuterung physiologischer Sachverhalte zwischen Stoff- und Teilchenebene (Diffusion, Osmose). (KK 2.4)














Stunden	Thema und Leitfrage	Kurzbeschreibung	Lernziele (Niedersächsisches Kultusministerium, 2017)
			Die SuS erläutern verschiedene Arten von Stofftransport zwischen Kompartimenten (Diffusion, Osmose, aktiver Transport). (FW 2.3)

### Exemplarischer Stundenverlauf einer Einführungsstunde



















In der vorliegenden Einführungsstunde der Unterrichtseinheit werden zunächst die Organisationsebenen am Beispiel der Pflanze eingeführt. Anschließend werden die Methoden Concept Map und Zoom Map zunächst geübt und dann angewendet, um eine Erklärung für das Phänomen welcher Pflanzen zu konstruieren.

Diese nur auf dem Vorwissen der Lernenden basierende Erklärung wird dann im weiteren Verlauf immer weiter erweitert und reflektiert. Anhand von Unterrichtsmaterialien, die das Phänomen auf allen Ebenen darstellen, sollen die Lernenden erste Erklärungsansätze formulieren und in ihre Zoom Maps integrieren. Der Verlauf wird in Tabelle 5 dargestellt, eine ausführliche Beschreibung sowie die eingebundenen Unterrichtsmaterialien sind im Anhang bei PUBLIKATION 6 zu finden (Kapitel 10.6).

Tabelle 5: Verlaufsplan der ersten Doppelstunde (Impulse der Lehrkraft sind unterstrichen, antizipierte Antworten der Lernenden sind *kursiv*.)

Zeit [min]	Lehrer*innenverhalten  und antizipiertes Schüler*innenverhalten 
	<b>Einstieg</b>
	 Beschreibt die Abbildung (Abb. 4)
5	 <i>Eine Pflanze ist welk/krank/schlaff, die andere Pflanze normal/gesund/straff.</i>
	 <u>Formuliert eine Fragestellung für die Stunde.</u>
	 <i>Warum sind die Blätter schlaff / Warum sehen die Blätter unterschiedlich aus?</i>
	<b>Diagnose 1</b>
5	 Mich interessiert, wie ihr euch das vorstellt. <u>Erklärt schriftlich, warum die Blätter rechts herabhängen und links stabil abstehen.</u> Diese Erklärung nutzen wir später noch einmal.
	<b>Erarbeitung 1</b>
	 Um die Fragestellung zu beantworten, sollten wir uns erstmal damit beschäftigen, welche Organisationsebenen für unser Phänomen relevant sind. <u>Informiert euch anhand des AB und erstellt eine Concept Map zu den Organisationsebenen.</u>
10	 <b>Organisationsebenen Pflanze</b>
	 <b>Alternativer Lernweg:</b> SuS erhalten zusätzlich eine Anleitung (+ 10 min)
	 <b>Methode: Concept Map</b>
5	<b>Zwischensicherung 1</b>



Zeit [min]	Lehrer*innenverhalten  und antizipiertes Schüler*innenverhalten 
	 Stellt eure Concept Map vor.  <b>Alternativer Lernweg:</b> Wie seid ihr vorgegangen, um diese Concept Map zu erstellen?
	<b>Diagnose 2</b>
10	 Jetzt wisst ihr, dass man biologische Phänomene häufig auf mehreren Ebenen erklären muss. Da das Schüler*innen häufig schwerfällt, wurde die Zoom Map als Unterstützung entwickelt. <u>Erklärt, warum die Blätter rechts herabhängen und links stabil abstehen. Tragt eure bisherige Erklärung in die Zoom Map ein.</u>  <b>Methode Zoom Map</b>  <b>Zoom Map</b>
	<b>Zwischensicherung 2</b>
10	 <u>Beschreibt, wie ihr vorgegangen seid, um eure Zoom Map zu erstellen.</u> Auf typische Fehler hinweisen (fehlende Verknüpfungen, unbeschriftete Relationen) -> Schüler*innen zum aktiven Umgang mit fehlendem Wissen anleiten, z.B. Fragezeichen an Relationen schreiben, offene Fragen markieren.
	<b>Planung</b>
5	 <u>Beschreibt, wie wir vorgehen müssten, um das Phänomen weiter zu betrachten.</u>  <i>Pflanze auf allen Organisationsebenen betrachten. Experimente durchführen, um herauszufinden, woran es liegt.</i>
	Ggf. kann das Experiment vorgezogen werden  <b>Alternative: Experiment</b>
	<b>Erarbeitung 2</b>
15	 <u>Untersucht die Pflanzen auf allen Organisationsebenen. Erweitert eure Zoom Map um die neuen Erkenntnisse.</u>  <b>Grafischer Zoom Buntnessel</b>  <b>Fotografischer Zoom Buntnessel</b>
	<b>Sicherung 3</b>
10	 Eine Gruppe präsentiert ihr Ergebnis, die anderen ergänzen/verbessern.
	<b>Reflexion</b>
10	 <u>Stellt anhand eurer Zoom Map dar, was ihr bereits gelernt habt und welche Fragen noch offenbleiben.</u>
	Ende der Unterrichtsstunde
	 <b>Alternative: Experiment</b>
10	 Da wir nicht genügend Blätter der Buntnessel haben, nutzen wir als Modellorganismus Salatblätter. <u>Plant ein Experiment, um herauszufinden, unter welchen Bedingungen Salatblätter weich werden.</u>
	<b>Sicherung 4</b>
10	Eine Gruppe präsentiert ihre Planung, die anderen ergänzen/verbessern.

# 9.

## Literaturverzeichnis

- Akçay, S. (2016). Prospective elementary science teachers' understanding of photosynthesis and cellular respiration in the context of multiple biological levels as nested systems. *Journal of Biological Education*, 51(1), 52-65. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1170067>
- Allen, T. F. H., & Hoekstra, T. W. (2015). *Toward a Unified Ecology* (Vol. 2). Columbia University Press.
- Alparslan, C., Tekkaya, C., & Geban, Ö. (2003). Using the conceptual change instruction to improve learning. *Journal of Biological Education*, 37(3), 133-137.
- Anderson, C. W., Sheldon, T. H., & Dubay, J. (1990, Nov). The Effects of Instruction on College Nonmajors Conceptions of Respiration and Photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(8), 761-776. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270806>
- Assaraf, O. B. Z., Dodick, J., & Tripto, J. (2011, Feb). High School Students' Understanding of the Human Body System. *Research in Science Education*, 43(1), 33-56. <https://doi.org/10.1007/s11165-011-9245-2>
- Assaraf, O. B. Z., & Knippels, M. C. P. J. (2022, im Druck). Lessons learned: Synthesizing approaches that foster understanding of complex biological phenomena. In O. B. Z. Assaraf & M. C. P. J. Knippels (Eds.), *Fostering understanding of complex systems in biology education - Pedagogies, guidelines and insights from classroom-based research*. Springer.
- Aubrecht, K. B., Dori, Y. J., Holme, T. A., Lavi, R., Matlin, S. A., Orgill, M., & Skaza-Acosta, H. (2019). Graphical Tools for Conceptualizing Systems Thinking in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00314>
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: a cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.
- Bahar, M., Johnstone, A. H., & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2), 84-86. <https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655648>
- Becker, L. B., Welter, V. D. E., Aschermann, E., & Großschedl, J. (2021). Comprehension-Oriented Learning of Cell Biology: Do Different Training Conditions Affect Students' Learning Success Differentially? *Education Sciences*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/educsci11080438>
- Bergan-Roller, H. E., Galt, N. J., Helikar, T., & Dauer, J. T. (2018). Using concept maps to characterise cellular respiration knowledge in undergraduate students. *Journal of Biological Education*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1541001>
- Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990, May). Student Conceptions of Natural-Selection and Its Role in Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 415-427. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270503>
- Boersma, K. T., & Geraedts, C. (2012). *The Interpretation of Students' Lamarckian Explanations*. ERIDOB, Berlin.





- Born, B. (2007). *Lernen mit Alltagsphantasien* (Vol. 10). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- BouJaoude, S., & Attieh, M. (2008). The Effect of Using Concept Maps as Study Tools on Achievement in Chemistry. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 4(3), 233-246. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75345>
- Brandstädter, K., Harms, U., & Großschedl, J. (2012). Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices. *International Journal of Science Education*, 34(14), 2147-2170. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.716549>
- Brooks, D. S., & Eronen, M. I. (2018, Apr 10). The significance of levels of organization for scientific research: A heuristic approach. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2018.04.003>
- Brown, M. H., & Schwartz, R. S. (2009). Connecting photosynthesis and cellular respiration: Preservice teachers' conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(7), 791-812. <https://doi.org/10.1002/tea.20287>
- Caine, R. N., & Caine, G. (1994). *Making Connections: Teaching and the Human Brain*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Campbell, L. O. (2016). Concept Mapping: An "Instagram" of Students' Thinking. *The Social Studies*, 107(2), 74-80. <https://doi.org/10.1080/00377996.2015.1124377>
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M., Wasserman, S., Minorsky, P. V., & Jackson, R. (Eds.). (2008). *Biology* (8. ed.). Pearson
- Chambliss, M. J., & Calfee, R. C. (1998). *Textbooks for learning: Nurturing children's minds*. Blackwell Publishers Massachusetts.
- Chi, M. T. H. (2000). Self-explaining: The dual processes of generating inference and repairing mental models. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology: Educational design and cognitive science* (Vol. 5, pp. 161-238). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Chi, M. T. H. (2008). Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. *Handbook of research on conceptual change*, 61-82.
- Darden, L. (2002, Sep). Strategies for discovering mechanisms: Schema instantiation, modular subassembly, forward/backward chaining. *Philosophy of Science*, 69(3), 354-365. <https://doi.org/10.1086/341858>
- Dauer, J., & Dauer, J. (2016). A framework for understanding the characteristics of complexity in biology. *International Journal of STEM Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0047-y>
- Dauer, J. T., Momsen, J. L., Speth, E. B., Makohon-Moore, S. C., & Long, T. M. (2013, Aug). Analyzing change in students' gene-to-evolution models in college-level introductory biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(6), 639-659. <https://doi.org/10.1002/tea.21094>
- Davidowitz, B., & Rollnick, M. (2001). Effectiveness of Flow Diagrams as a Strategy for Learning in Laboratories. *Aust. J. Ed. Chem.*, 57, 18-24.
- De Klerk, G. J. M. (1979). Mechanism and vitalism. A history of the controversy. *Acta Biotheoretica*, 28(1), 1-10.



- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in Pieces. In G. Forman & P. B. Pufall (Eds.), *The Jean Piaget symposium series. Constructivism in the computer age* (pp. 49-70). Lawrence Erlbaum Associates.
- Dor-Haim, S., & Assaraf, O. B. Z. (2022). Long Term Ecological Research as a Learning Environment: Evaluating Its Impact in Developing the Understanding of Ecological Systems Thinking – A Case Study. In M. C. P. J. Knippels & O. B. Z. Assaraf (Eds.), *Understanding Complexity in Biology Education*. Springer.
- Dreyfus, A., & Jungwirth, E. (1988). The cell concept of 10th graders: curricular expectations and reality. *International Journal of Science Education*, 10(2), 221-229. <https://doi.org/10.1080/0950069880100210>
- Dreyfus, A., & Jungwirth, E. (1989). The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. *Journal of Biological Education*, 23(1), 49-55. <https://doi.org/10.1080/00219266.1989.9655024>
- Duit, R., & Treagust, D. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688. <http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a713865021>
- Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938-959. <https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Düsing, K., Asshoff, R., & Hammann, M. (2018). 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. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1447002>
- Düsing, K., Asshoff, R., & Hammann, M. (2019). Tracing matter in the carbon cycle: zooming in on high school students' understanding of carbon compounds and their transformations. *International Journal of Science Education*, 41(17), 2484-2507. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1686665>
- Ebert-May, D., Batzli, J., & Lim, H. (2003, Dec). Disciplinary research strategies for assessment of learning. *BioScience*, 53(12), 1221-1228. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[1221:DRSFAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1221:DRSFAO]2.0.CO;2)
- Egler, F. (1942). Vegetation as an Object of study. *Philosophy of Science*, 9(3), 245-260.
- Eilam, B. (2012). System thinking and feeding relations: Learning with a live ecosystem model. *Instructional Science*, 40(2), 213-239. <https://doi.org/10.1007/s11251-011-9175-4>
- Eilam, B., & Omar, S. Y. (2022, im Druck). Science teachers' construction of knowledge about simulations and population size via performing inquiry with simulations of growing vs. descending levels of complexity. In O. B. Z. Assaraf & M. C. P. J. Knippels (Eds.), *Fostering understanding of complex systems in biology education - Pedagogies, guidelines and insights from classroom-based research*. Springer.
- Eronen, M. I. (2015, Jan). Levels of organization: a deflationary account. *Biology & Philosophy*, 30(1), 39-58. <https://doi.org/10.1007/s10539-014-9461-z>
- Eronen, M. I., & Brooks, D. S. (2018). *Levels of Organization in Biology*. Retrieved 10.11.2018 from <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/levels-org-biology/>
- Eylon, B.-S., & Linn, M. C. (1988). Learning and Instruction: An Examination of Four Research Perspectives in Science Education. *Review of Educational Research*, 58(3), 251-301.



- Ferrari, M., & Chi, M. T. H. (1998). The nature of naive explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1231-1256. <https://doi.org/10.1080/0950069980201005>
- Fischer, F., Bruhn, J., Gräsel, C., & Mandl, H. (2002, Apr). Fostering collaborative knowledge construction with visualization tools. *Learning and Instruction*, 12(2), 213-232. [https://doi.org/10.1016/s0959-4752\(01\)00005-6](https://doi.org/10.1016/s0959-4752(01)00005-6)
- Flores, F., Tovar, M. E., & Gallegos, L. (2003). Representation of the cell and its processes in high school students: An integrated view. *International Journal of Science Education*, 25(2), 269-286. <https://doi.org/10.1080/09500690210126793>
- Fürstenau, B. (2011). Concept Maps im Lehr-Lern-Kontext. *Die Zeitschrift*(1), 46-47.
- Gaidos, E., Fischer, D. A., Mann, A. W., & Howard, A. W. (2013). An Understanding of the Shoulder of Giants: Jovian Planets around late k Dwarf Stars and the Trend with Stellar Mass. *The Astrophysical Journal*, 771(1).
- Gellert, E. (1962). Children's conceptions of the content and functions of the human body. *Genetic Psychology Monographs*, 65.
- Geraedts, C. L., & Boersma, K. T. (2006). Reinventing Natural Selection. *International Journal of Science Education*, 28(8), 843-870. <https://doi.org/10.1080/09500690500404722>
- Grene, M. (1987, Sep-Oct). Hierarchies in Biology. *American Scientist*, 75(5), 504-510.
- Gropengießer, H. (2007a). *Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung* (Vol. 2 Aufl.). Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Gropengießer, H. (2007b). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung - Ein Handbuch für Lehramtsstudierende und Doktoranden* (pp. 105-116). Springer. <http://www.springerlink.de/content/qh410650h7r04843/fulltext.pdf>
- Gropengießer, H. (2008). *Wie man Vorstellungen der Schüler verstehen kann. Lernwelten. Denkwelten. Sprechwelten.* (Vol. 1). Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Grotzer, T. A., & Bell Basca, B. (2003). How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding? *Journal of Biological Education*, 38(1), 16-29.
- Hackling, M., & Treagust, D. F. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 197-209.
- Halldén, O. (1990). Questions asked in common sense contexts and in scientific contexts. In P. L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos, & A. J. Waarlo (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles - A central problem in secondary science education* (Vol. 6, pp. 119-129). CD-B Centre for Science and Mathematics Education.
- Hammann, M. (2019). Organisationsebenen biologischer Systeme unterscheiden und vernetzen: Empirische Befunde und Empfehlungen für die Praxis. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Eds.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (pp. 1-19). Springer Spektrum. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_5)



- Hanisch, S., & Eirdosh, D. (2020). Causal Mapping as a Teaching Tool for Reflecting on Causation in Human Evolution. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00157-z>
- Hawk, P. P. (1986). Using Graphic Organizers to Increase Achievement in Middle School Life Science. *Science Education*, 70(1), 81-87.
- Hay, D., Kinchin, I., & Lygo-Baker, S. (2008). Making learning visible: the role of concept mapping in higher education. *Studies in Higher Education*, 33(3), 295-311. <https://doi.org/10.1080/03075070802049251>
- Hempel, C. G., & Oppenheim, P. (1948). Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135-175.
- Hilge, C. (1999). *Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen: Ein Beitrag zur didaktischen Rekonstruktion*. Didaktisches Zentrum der Carl von Ossietzky Universität.
- Hlawatsch, S., Lücken, M., Hansen, K., Fischer, M., & Bayrhuber, H. (2005). Forschungsdialog: System Erde – Schlussbericht. [http://archiv.ipn.uni-kiel.de/System Erde/Schlussbericht20\\_12\\_05-EF.pdf](http://archiv.ipn.uni-kiel.de/System_Erde/Schlussbericht20_12_05-EF.pdf)
- Hmelo, C. E., Holton, D. L., & Kolodner, J. L. (2000). Designing to Learn About Complex Systems. *Journal of the Learning Sciences*, 9(3), 247-298. [https://doi.org/10.1207/s15327809jls0903\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327809jls0903_2)
- Hmelo-Silver, C. E., Marathe, S., & Liu, L. (2007). Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of complex systems. *Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 307-331. <https://doi.org/10.1080/10508400701413401>
- Hogan, K., & Fisherkeller, J. (1996). Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: Bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 941-970.
- Housh, K., Hmelo-Silver, C. E., & Yoon, S. (2022). Theoretical Perspectives on Complex Systems in Biology Education. In M. C. P. J. Knippels & O. B. Z. Assaraf (Eds.), *Fostering understanding of complex systems in biology education - Pedagogies, guidelines and insights from classroom-based research*. Springer.
- Hyerle, D. (2008). ThinkingMaps®: A Visual Language for Learning. In A. Okada, S. J. Buckingham Shum, & T. Sherborne (Eds.), *Knowledge Cartography* (Vol. 2, pp. 73-88). Springer.
- Jamieson, A., & Radick, G. (2017). Genetic determinism in the genetics curriculum: an exploratory study of the effects of Mendelian and Weldonian emphases. *Science & Education*, 26(10), 1261-1290. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9900-8>
- Javonillo, R., & Martin-Dunlop, C. (2019). Linking Phrases for Concept-Mapping in Introductory College Biology. *Bioscene: Journal of College Biology Teaching*, 45(3), 34-38.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Johnstone, A. H., & Mahmoud, N. A. (1980). Isolating Topics of High Perceived Difficulty in School Biology. *Journal of Biological Education*, 14(2), 163-166. <https://doi.org/10.1080/00219266.1980.10668983>



- Jördens, J., Asshoff, R., Kullmann, H., & Hammann, M. (2016). Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution. *International Journal of Science Education*, 38(6), 960-992. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1174790>
- Katayama, A. D., & Robinson, D. H. (2000). Getting Students "Partially" Involved in Note-Taking Using Graphic Organizers. *The Journal of Experimental Education*, 68(2), 119-133. <https://doi.org/10.1080/00220970009598498>
- Kattmann, U. (2007). Learning biology by means of anthropomorphic conceptions? In M. Hammann, M. J. Reiss, C. Boulter, & S. D. Tunnicliffe (Eds.), *Biology in context: Learning and teaching for 21st century* (pp. 21-26). Institute of Education, University of London. <https://doi.org/10.13140/2.1.2725.7923>
- Kattmann, U. (2015). *Schüler besser verstehen. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht*. Aulis.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- Kinchin, I. M. (2001). If concept mapping is so helpful to learning biology, why aren't we all doing it? *International Journal of Science Education*, 23(12), 1257-1269. <https://doi.org/10.1080/09500690010025058>
- Kinchin, I. M., Mollits, A., & Reiska, P. (2019, Jun). Uncovering Types of Knowledge in Concept Maps. *Education Sciences*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/educsci9020131>
- Knippels, M. C. P. J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education - The yoyo teaching and learning strategy* (Vol. 43). CD-β Press.
- Knippels, M. C. P. J., & Waarlo, A. J. (2018, Sep). Development, Uptake, and Wider Applicability of the Yo-yo Strategy in Biology Education Research: A Reappraisal. *Education Sciences*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/educsci8030129>
- Knippels, M. C. P. J., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2005, Sum). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3), 108-112. <https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655976>
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619-633. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614717>
- Kroeze, K. A., van den Berg, S. M., Veldkamp, B. P., & de Jong, T. (2021). Automated Assessment of and Feedback on Concept Maps During Inquiry Learning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 14(4), 460-473. <https://doi.org/10.1109/tlt.2021.3103331>
- Kuckartz, U. (2010). *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten* (Vol. 3). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. The university of Chicago press.
- Langlet, J. (2016). Kultur der Naturwissenschaften. In H. Gropengießer, U. Harms, & U. Kattmann (Eds.), (10. ed., pp. 80-98). Aulis.



- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195-206. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072782>
- Linn, M. C., & Muilenburg, L. (1996). Creating Lifelong Science Learners: What Models Form a Firm Foundation? *Educational Researcher*, 25(5), 18-24.
- Lira, M. E., & Gardner, S. M. (2017). Structure-function relations in physiology education: Where's the mechanism? *Advances in Physiology Education*, 41(2), 270-278. <https://doi.org/10.1152/advan.00175.2016>
- Liu, X. (2002). Using concept mapping for assessing and promoting relational conceptual change in science. *Science Education*, 88(3), 373-396. <http://www3.interscience.wiley.com/journal/108061363/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>
- Liu, X., & Lesniak, K. (2006). Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 43(3), 320-347.
- Lombrozo, T. (2006, Oct). The structure and function of explanations. *Trends Cogn Sci*, 10(10), 464-470. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.08.004>
- Lutze, M., & Zabel, J. (2014). Zelle, Organ, Organismus – Wie verstehen Lerner die Organisationsebenen des Lebendigen? 16. Internationale Frühjahrsschule der Fachsektion Didaktik der Biologie, Trier.
- Machado, C. T., & Carvalho, A. A. (2020). Concept Mapping: Benefits and Challenges in Higher Education. *The Journal of Continuing Higher Education*, 68(1), 38-53. <https://doi.org/10.1080/07377363.2020.1712579>
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking about Mechanisms. *Philosophy of Science*, 67(1), 1-25.
- MacMahon, J. A., Phillips, D. L., Robinson, J. V., & Schimpf, D. J. (1978, Nov). Levels of biological organization: an organism-centered approach. *BioScience*, 28(11), 700-704. <https://doi.org/10.2307/1307320>
- Maker, C. J., & Zimmerman, R. H. (2020). Concept Maps as Assessments of Expertise: Understanding of the Complexity and Interrelationships of Concepts in Science. *Journal of Advanced Academics*, 31(3), 254-297. <https://doi.org/10.1177/1932202x20921770>
- Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2010). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34(4), 200-205. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655718>
- Mayr, E. (1961). Cause and effect in biology. *Science*, 134, 1501.
- Mayring, P. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse. In G. Mey & K. Muck (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (pp. 601-613). Springer [https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9441-7\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9441-7_42)
- McClure, J. R., Sonak, B., & Suen, H. K. (1999). Concept Map Assessment of Classroom Learning: Reliability, Validity, and Logistical Practicality. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), 475-492.



- Meijer, M. (2011). *Macro-meso-micro thinking with structure-property relations for chemistry education - An explorative design-based research* (Vol. 65). Fisme Scientific Library.
- Merton, R. K. (1989). *Auf den Schultern von Riesen: ein Leitfadens durch das Labyrinth der Gelehrsamkeit*. Athenäum.
- Mintzes, J. J., Trowbridge, J. E., Arnaudin, M. W., & Wandersee, J. H. (1991). Children's biology: Studies on conceptual development in the life sciences. *The psychology of learning science*, 179-202.
- Mitchell, S. D. (2012). *Biological Complexity and Integrative Pluralism*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511802683>
- MNU. (2001). Biologieunterricht und Bildung. Die besondere Bedeutung des Faches Biologie zur Kompetenzentwicklung bei Schülerinnen und Schülern. Empfehlung zur Gestaltung von Lehrplänen und Richtlinien für den Biologieunterricht. *Der Mathematisch naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 54(4), [Beilage].
- National Reading Panel. (2000). *Teaching children to read: An Evidence-based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction*. U.S. Department of Health and Human Services.
- Nesbit, J. C., & Adesope, O. O. (2006). Learning with Concept and Knowledge Maps: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 76(3), 413 - 448.
- Niebert, K. (2010). *Den Klimawandel verstehen: eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung* (Vol. 31). Didaktisches Zentrum.
- Niedersächsisches Kultusministerium. (2017). Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe.
- Novak, J. D. (1990, Dec 20). Concept Mapping - a Useful Tool for Science-Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949. <https://doi.org/10.1002/tea.3660271003>
- Novak, J. D. (2002, Jul). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86(4), 548-571. <https://doi.org/10.1002/sce.10032>
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2006a). The origins of the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization*, 5, 175-184.
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2006b). *The theory underlying concept maps and how to construct and use them* (Technical Report IHMC CmapTools 2006-01, Issue. <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- Novikoff, A. B. (1945, Mar 2). The Concept of Integrative Levels and Biology. *Science*, 101(2618), 209-215. <https://doi.org/10.1126/science.101.2618.209>
- Odum, E., & Barret, G. (2005). *Fundamentals of Ecology* (Vol. 5). Thomson Brooks/Cole.
- Parker, J. M., Anderson, C. W., Heidemann, M., Merrill, J., Merritt, B., Richmond, G., & Urbanlurain, M. (2012). Exploring Undergraduates' Understanding of Photosynthesis Using Diagnostic Question Clusters. *11*, 47-57. <https://doi.org/10.1187/cbe.11-07-0054>



- Pearson, J. T., & Hughes, W. J. (1988). Problems with the use of terminology in genetics education: 1, A literature review and classification scheme. *Journal of Biological Education*, 22(3), 178-182. <https://doi.org/10.1080/00219266.1988.9654979>
- Penner, D. E. (2000). Explaining systems: Investigating middle school students' understanding of emergent phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(8), 784-806. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200010\)37:8<784::AID-TEA3>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200010)37:8<784::AID-TEA3>3.0.CO;2-E)
- Plotz, T. (2019). Are Concept Maps a Valid Measurement Tool for Conceptual Learning? A Cross-case Study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(1). <https://doi.org/10.29333/ejmste/110174>
- Rebich, S., & Gautier, C. (2005). Concept mapping to reveal prior knowledge and conceptual change in a mock summit course on global climate change. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 355-365. [http://nagt.org/files/nagt/jge/abstracts/Riebich\\_v53p355.pdf](http://nagt.org/files/nagt/jge/abstracts/Riebich_v53p355.pdf)
- Reinagel, A., & Bray Speth, E. (2016, Spring). Beyond the Central Dogma: Model-Based Learning of How Genes Determine Phenotypes. *CBE Life Sci Educ*, 15(1), ar4. <https://doi.org/10.1187/cbe.15-04-0105>
- Resnick, M., & Wilensky, U. (1998). Diving Into Complexity: Developing Probabilistic Decentralized Thinking Through Role-Playing Activities. *The Journal of the Learning Sciences*, 7(2), 153-172.
- Rönnebeck, S., Bernholt, S., & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground - A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161-197. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>
- Rowe, J. S. (1961). The Level-of-Integration Concept and Ecology. *Ecology*, 42(2), 420-427. <http://www.jstor.org/stable/1932098>
- Schanze, S., & Brüchner, K. (2005). Computergestütztes concept mapping. *Unterricht Chemie*, 16(90), 16-19.
- Schneeweiß, N., & Gropengießer, H. (2019). Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Education Sciences*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/educsci9030207>
- Schneeweiß, N., & Gropengießer, H. (2021). The Zoom Map: A New Graphic Organizer to Guide Student's Explanations Across the Levels of Biological Organization. *Bioscene*, 47(1), 3-14.
- Schönborn, K. J., & Bögeholz, S. (2013). Experts' Views on Translation Across Multiple External Representations in Acquiring Biological Knowledge About Ecology, Genetics, and Evolution. In D. Treagust & C. Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (Vol. 7, pp. 111-128). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8_7)
- Schwartz, R., & Brown, M. H. (2013). Understanding Photosynthesis and Cellular Respiration: Encouraging a View of Biological Nested Systems. In D. F. Treagust & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (Vol. 7, pp. 203-224). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8>
- Schwarz, B., Perret-Clermont, A.-N., Trognon, A., & Marro, P. (2008). Emergent learning in successive activities - Learning in interaction in a laboratory context. *Pragmatics & Cognition*, 16(1), 57-87. <https://doi.org/10.1075/p&c.16.1.05sch>





- Schwendimann, B. A., & Linn, M. C. (2016, Jan). Comparing Two Forms of Concept Map Critique Activities to Facilitate Knowledge Integration Processes in Evolution Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 70-94. <https://doi.org/10.1002/tea.21244>
- Senge, P. M. (1990). *The fifth Discipline - The Art and Practice of the Learning Organization*. Currency.
- Shtulman, A. (2006, Mar). Qualitative differences between naive and scientific theories of evolution. *Cogn Psychol*, 52(2), 170-194. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2005.10.001>
- Slack, S. J., & Stewart, J. (1990, Jan). High-School-Students Problem-Solving Performance on Realistic Genetics Problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(1), 55-67. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270106>
- Smith, M. U., & Good, R. (1984). Problem solving and classical genetics: successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(9), 895-912.
- Songer, C. J., & Mintzes, J. J. (1994, Aug). Understanding Cellular Respiration - an Analysis of Conceptual Change in College Biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 621-637. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310605>
- Southard, K. M., Espindola, M. R., Zaepfel, S. D., & Bolger, M. S. (2017). Generative mechanistic explanation building in undergraduate molecular and cellular biology. *International Journal of Science Education*, 39(13), 1795-1829. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1353713>
- Southerland, S. A., Abrams, E., Cummins, C. L., & Anzelmo, J. (2001, Jul). Understanding students' explanations of biological phenomena: Conceptual frameworks or p-prims? *Science Education*, 85(4), 328-348. <https://doi.org/10.1002/sce.1013>
- Stavy, R., Eisen, Y., & Yaakobi, D. (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 9(1), 105-115. <https://doi.org/10.1080/0950069870090111>
- Steffe, L. P., & Thompson, P. W. (2000). Teaching experiment methodology: Underlying Principle and Essential Elements. In R. Lesh & A. E. Kelly (Eds.), *Research desing in mathematics and science education* (pp. 267-307). Erlbaum.
- Stull, A. T., & Mayer, R. E. (2007, Nov). Learning by doing versus learning by viewing: Three experimental comparisons of learner-generated versus author-provided graphic organizers. *Journal of Educational Psychology*, 99(4), 808-820. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.4.808>
- Sumfleth, E., Neuroth, J., & Leutner, D. (2010). Concept Mapping - eine Lernstrategie muss man lernen. Concept Mapping - Learning Strategy is Something You Must Learn. *Chemkon*, 17(2), 66-70. <https://doi.org/10.1002/ckon.201010114>
- Taşdelen, Ö., & Güven, T. (2021). Pre-Service Biology Teachers' Perceptions of the Concepts of 'System' and 'Biological System'. *Journal of Biological Education*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1933129>
- Thelen, E., & Smith, L. B. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. MIT Press.
- Treagust, D. F., & Tsui, C.-Y. (2013). *Multiple Representations in Biological Education* (Vol. 7). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8>



- Tripto, J., Assaraf, O. B. Z., Snapir, Z., & Amit, M. (2016, Mar 3). The 'What is a system' reflection interview as a knowledge integration activity for high school students' understanding of complex systems in human biology. *International Journal of Science Education*, 38(4), 564-595. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1150620>
- Ummels, M. H. J., Kamp, M. J. A., de Kroon, H., & Boersma, K. T. (2014). Designing and Evaluating a Context-based Lesson Sequence Promoting Conceptual Coherence in Biology. *Journal of Biological Education*, 49(1), 38-52. <https://doi.org/10.1080/00219266.2014.882380>
- Unger, B. (2017). *Biologie verstehen: wie Lerner mikrobiell induzierte Phänomene erklären: eine theoriegeleitete Entwicklung von Lernangeboten im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion*. Logos Verlag.
- van Dijk, A. M., Gijlers, H., & Weinberger, A. (2014). Scripted collaborative drawing in elementary science education. *Instructional Science*, 42(3), 353-372. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9286-1>
- van Mil, M. H. W., Boerwinkel, D. J., & Waarlo, A. J. (2013). Modelling Molecular Mechanisms: A Framework of Scientific Reasoning to Construct Molecular-Level Explanations for Cellular Behaviour. *Science & Education*, 22(1), 93-118. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9379-7>
- van Mil, M. H. W., Postma, P. A., Boerwinkel, D. J., Klaassen, K., & Waarlo, A. J. (2016). Molecular Mechanistic Reasoning: Toward Bridging the Gap Between the Molecular and Cellular Levels in Life Science Education. *Science Education*, 100(3), 517-585. <https://doi.org/10.1002/sce.21215>
- Vasconcelos, C., Ferreira, F., Rolo, A., Moreira, B., & Melo, M. (2019). Improved Concept Map-Based Teaching to Promote a Holistic Earth System View. *Geosciences*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/geosciences10010008>
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055. [https://doi.org/doi:10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199811\)35:9<1031::AID-TEA5>3.0.CO;2-E](https://doi.org/doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199811)35:9<1031::AID-TEA5>3.0.CO;2-E)
- Verhoeff, R. P. (2003). *Towards systems thinking in cell biology education*. CD-β Press.
- Verhoeff, R. P., Knippels, M. C. P. J., Gilissen, M. G. R., & Boersma, K. T. (2018). The Theoretical Nature of Systems Thinking. Perspectives on Systems Thinking in Biology Education. *Frontiers in Education*, 3. <https://doi.org/10.3389/feduc.2018.00040>
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2008). Systems Modelling and the Development of Coherent Understanding of Cell Biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543-568. <https://doi.org/10.1080/09500690701237780>
- von Bertalanffy, L. (1950). An Outline of General System Theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1(2), 134-165.
- Waheed, T., & Lucas, A. M. (1992). Understanding interrelated topics: photosynthesis at age 14+. *Journal of Biological Education*, 26(3), 193-199.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. The Falmer Press.



- White, S., Murray, J., Goodwin, A. L., Kosnik, C., & Beck, C. (2020, 2021/10/20). On the shoulder of giants: advice for beginning teacher educators. *Asia-Pacific Journal of Teacher Education*, 49(5), 566-579. <https://doi.org/10.1080/1359866X.2020.1756223>
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3-19. <https://doi.org/10.1023/a:1009421303064>
- Williams, M., Montgomery, B. L., & Manokore, V. (2012). From Phenotype to Genotype: Exploring Middle School Students' Understanding of Genetic Inheritance in a Web-Based Environment. *The American Biology Teacher*, 74(1), 35-40. <https://doi.org/10.1525/abt.2012.74.1.8>
- Wimsatt, W. C. (2006). Reductionism and its heuristics: Making methodological reductionism honest. *Synthese*, 151(3), 445-475. <https://doi.org/10.1007/s11229-006-9017-0>
- Yoon, S. (2022, im Druck). Designing Complex Systems Curricula for High School Biology: A Decade of work with the BioGraph Project. In O. B. Z. Assaraf & M. C. P. J. Knippels (Eds.), *Fostering understanding of complex systems in biology education - Pedagogies, guidelines and insights from classroom-based research*. Springer.
- Zamorra, M. C., & Guerra, M. (1993). Misconceptions about Cells. The proceedings of the third international seminar on misconceptions and educational strategies in science and mathematics, Ithaca.
- Zollman, A. (2015). Students Use Graphic Organizers to Improve Mathematical Problem-Solving Communications. *Middle School Journal*, 41(2), 4-12. <https://doi.org/10.1080/00940771.2009.11461707>

# 10. Anhang

## Box 5: Angaben zu den zugrundeliegenden Publikationen

PUBLIKATION 1	Schneeweiß, N. & Schanze, S. (2020). <i>Wissen organisieren und visualisieren – Erstellung von Concept Maps mit CmapTools</i> . Unterricht Chemie. (177/178). 92-95.	
Kapitel 10.1	Zeitschrift mit HerausgeberInnen-Review.	
Publikation 2	Schneeweiß, N. & Gropengießer, H. (2019). <i>Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature</i> . Education Sciences. 9(3). 207.	
Kapitel 10.2	Zeitschrift mit Blind-Peer-Review.	
Publikation 3	Schneeweiß, N. & Gropengießer, H. (2021). <i>The Zoom Map: A New Graphic Organizer to Guide Students' Explanations Across the Levels of Biological Organization</i> . Bioscene. 47(1). 3-14.	
Kapitel 10.3	Zeitschrift mit Peer-Review.	
Publikation 4	Schneeweiß, N., Mölgen, L. & Gropengießer, H. (2022). <i>Guiding students' explanations across the levels of biological organisation: The case of wilted plants</i> . Journal of Biological Education.	
Kapitel 10.4	Zeitschrift mit Blind-Peer-Review.	
Publikation 5	Schneeweiß, N. & Gropengießer, H. (2022). <i>The Zoom Map: Explaining Complex Biological Phenomena by Drawing Connections between and in Levels of Organization</i> . In: Assaraf, O. B. Z. & Knippels, M. C. (Hrsg.). <i>Fostering Understanding of Complex Systems in Biology Education</i> . Cham: Springer Verlag. 123-149.	
Kapitel 10.5	Eingeladenes Buchkapitel. Referierter Sammelband.	
Publikation 6	Schneeweiß, N. & Gropengießer, H. (2022). <i>Komplexe biologische Phänomene durch Zoomen und Jo-Jo-Lernen auf allen Ebenen erklären</i> . BU-Praktisch. 5(2). 1	
Kapitel 10.6	Zeitschrift mit HerausgeberInnen-Review.	



## 10.1 PUBLIKATION 1: Concept Mapping mit CmapTools

### Angaben zur Publikation

#### Box 6: Literaturangaben von Publikation 1 – Concept Mapping



Schneeweiß, N. & Schanze, S.



Wissen organisieren und visualisieren – Erstellung von Concept Maps mit CmapTools



Unterricht Chemie (177/178), 92-95



Publiziert im Juni 2020



HerausgeberInnen Review<sup>1</sup>

DOI

<https://www.friedrich-verlag.de/chemie/saeuren-basen/wissen-organisieren-und-visualisieren-3674>

### Darstellung der Eigenleistung

Das Manuskript wurde von mir verfasst. Prof. Sascha Schanze stand beratend zur Seite und trug zur Überarbeitung des Manuskripts bei.

### Hinweise zum Urheberrecht

Abgedruckt wird das noch nicht begutachtete Manuskript (Author's Original Manuscript). Die publizierte Version kann unter dem folgenden Link abgerufen werden (kostenpflichtig): <https://www.friedrich-verlag.de/chemie/saeuren-basen/wissen-organisieren-und-visualisieren-3674>

---

<sup>1</sup> Der Erstautor war einer von drei HerausgeberInnen dieser Ausgabe.

*Abdruck der Publikation*

## Wissen organisieren und visualisieren – Erstellung von Concept Maps mit CmapTools

Schneeweiß, Niklas &amp; Schanze, Sascha

Eingereicht im März 2020. Publiziert im Juni 2020.

### Kurzbeschreibung

Concept Maps sind eine Repräsentationsform, die sich zur Darstellung konzeptioneller Beziehungen/Zusammenhänge eignet. Am Beispiel des Themas Säuren und Basen wird in diesem Beitrag dargestellt, wie die Erstellung und Reflektion von Concept Maps mit dem Programm oder der App CmapTools im Unterricht eingesetzt werden kann, um vernetztes Denken zu fördern.

### Einleitung

Naturwissenschaftlicher Unterricht stellt Lernende vor die Herausforderung, Vorstellungen auf verschiedenen Betrachtungsebenen zu vernetzen [z.B. 1,2]. In der Chemie sind beispielsweise Vorgänge auf der Ebene der Phänomene mit Erklärungen auf der submikroskopischen Ebene zu verknüpfen. Concept Maps können diese Prozesse unterstützend begleiten.

Concept Maps sind eine Form der Wissensorganisation und -visualisierung. Die kleinste Einheit einer Concept Map besteht aus zwei Begriffen, die durch eine Relation miteinander in Beziehung gesetzt werden (Proposition) und (in Bezug zu einem Bezugsrahmen) eindeutig als richtig oder falsch beurteilt werden kann: z.B. **Säure wirkt als Protonenakzeptor** (Bezugsrahmen: Brönsted-Definition) [3] (s. Abb. 1 und 5).

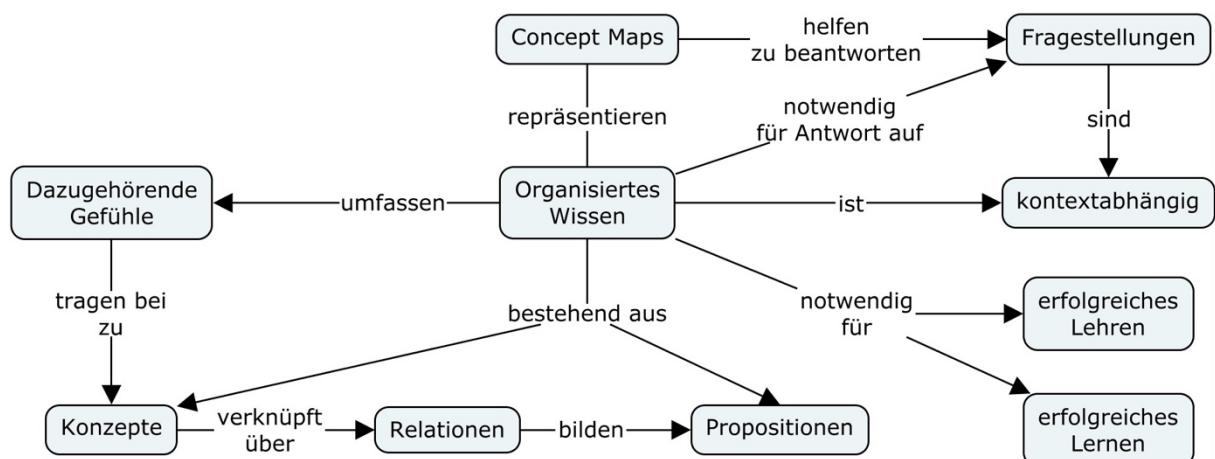


Abbildung 15: Concept Map zu Concept Maps

### Potentiale von Concept-Maps

Konzepte sind individuell und beliebig strukturiert mental repräsentiert. In einer Concept Map werden die individuellen Konzepte und ihre Beziehung zueinander abbildbar. Durch die



geringen Strukturvorgaben unterstützen Concept Maps das Anfertigen individueller semantischer Netzwerke [4].

Gerade im Fach Chemie besteht das fachdidaktische Potential von Concept Maps darin, Konzepte, die ständig weiterentwickelt werden, zu explizieren. So kann das Säure-Base-Konzept nach Arrhenius, Brönsted oder Lewis betrachtet werden. Die Proposition **Säure wirkt als ...** wird jedes Mal anders sein.

Der Gewinn durch den Einsatz dieser Methode besteht also nicht darin, das Concept Map als ein gutes oder schlechtes Endprodukt zu beurteilen. Vielmehr liegt der Wert dieser Methode im Erstellungsprozess an sich. Das Explizit-machen der eigenen Vorstellungen ermöglicht Aushandlungsprozesse mit anderen Lernenden sowie die Reflexion eigener und fremder Vorstellungen. Lernende können so selbst Lernschwierigkeiten entdecken. Neue Ideen werden anders als in linearen Dokumentationen (Texte, Portfolios, Lerntagebücher) zu jeder Zeit und an jeder Stelle fortlaufend in die komplexen Strukturen des Map integriert. Durch diese Ergänzungen und Erweiterungen des Concept Map kann wiederum auf Veränderungen der kognitiven Wissensstruktur geschlossen werden [5].

Für die Lehrkraft besteht das Potenzial in der Diagnosemöglichkeit. Ein schneller Blick auf ein Schüler Concept Map verrät dem geübten Auge viel über mögliche Lernschwierigkeiten.

### *Herausforderungen von Concept-Maps*

Gerade zu Beginn kann das Erstellen von Concept Maps für Schülerinnen und Schüler herausfordernd sein. Eine erste Hürde ist für viele Schülerinnen und Schüler die Sammlung von Begriffen zu einem Thema. Dieser Schritt kann jedoch unterstützt werden (**siehe Durchführung**). Typische Anfängerfehler sind, dass Begriffe nicht verknüpft oder Verknüpfungen nicht beschriftet werden. CmapTools gibt schon eine Struktur vor; beispielsweise erstellt es automatisch zu jeder Verknüpfung ein Beschriftungsfeld. Dadurch werden die Lernenden angeregt, ihre Vorstellung zu dieser Verknüpfung zu explizieren. Dennoch sollte die Erstellung mit der Gruppe eingeübt werden, um die grundsätzlichen Bedeutungen der einzelnen Arbeitsschritte möglichst frühzeitig zu erkennen (**siehe Durchführung**).

CMapTools kann Lernende durch das sehr einfache Vorgehen dazu verleiten, sehr umfangreiche Maps zu erstellen. In diesem Fall sollten die Schülerinnen und Schüler auch angeregt werden, ihr Map sinnvoll zu reduzieren.

Nützlich für das Fach Chemie wäre die Einbindung von Chemische Gleichungen. Werkzeuge für Reaktionspfeile oder Hoch- und Tiefstellungen sind in CmapTools vorhanden. Allerdings verbleibt die Erstellung von Gleichungen komplizierter als auf Papier.

### *Mehrwert von CMapTools*

CmapTools ist ein Programm, das auf Computern genutzt werden kann und auch als App für das iPad verfügbar ist. Der Mehrwert von CmapTools gegenüber der Erstellung eines Concept Map auf Papier liegt zum einen in der Flexibilität. Begriffe können beliebig auf einer Arbeitsoberfläche durch Relationen in Beziehung gesetzt werden. Ein Verändern und Erweitern eines Concept Maps ist jederzeit problemlos möglich. Dadurch können im Lernprozess (z.B. im Unterrichtsverlauf) immer wieder Propositionen eingefügt oder neuverknüpft werden. Ein weiterer Vorteil beim Einsatz des Programms ist, dass Begriffe des Concept Maps mit externen Ressourcen verlinkt werden können. Als Ressourcen sind alle Informationen denkbar, auf die die Schülerinnen und Schüler während ihres selbstgesteuerten Lernprozesses stoßen oder die sie selbst anfertigen, wie z. B. Bilder, kurze Texte oder Videos. Richtig interessant ist auch die kostenfrei nutzbare Server-Client Lösungen. Die Lehrperson kann im Unterricht genutzte Materialien auf dem Server hinterlegen. Sie stehen den

Lernenden zu einem beliebigen Zeitpunkt von jedem netzwerktauglichen Rechner zur Verfügung. Auch ein Austausch erstellter Concept Maps oder eine Zusammenarbeit wird ermöglicht.

Sofern es eine von der Lehrkraft erstellte Experten Map gibt, können die Lernenden ihre Map mit der Experten Map vergleichen. CmapTools gibt dann Rückmeldung, welche Relationen übereinstimmen.

### **Kurz-Anleitung CMapTools**

CMapTools unterscheidet zwischen einem Navigationsfenster (Ansicht) und der Arbeitsfläche zum Erstellen eines Concept Maps. Um eine neue Concept Map zu erstellen, wählen Sie *Datei -> Neue CMap*. Durch Doppelklick in die freie Fläche kann ein Begriff eingetragen werden. Durch Klicken auf das Pfeilsymbol über dem Begriff kann eine Proposition erstellt werden (siehe Abb. 3). Felder können beliebig verschoben oder gelöscht werden.

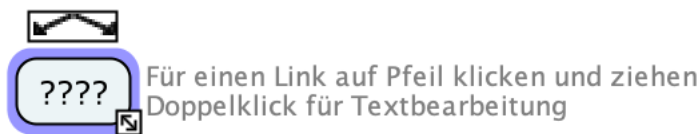


Abbildung 16: Klicken und ziehen der Pfeile erstellt Proposition

Über ein weiteres Fenster (Stile) lässt sich das aktuell bearbeitete Concept Map im Format verändern. Hier lassen sich z.B. Schriftart, Farben und Linien anpassen. Die Grundeinstellung von CMapTools lässt immer nur das Zeichnen eines Pfeils von unten nach oben zu. Das ist über „Stile“ aber leicht zu ändern (s. Abb. 4)

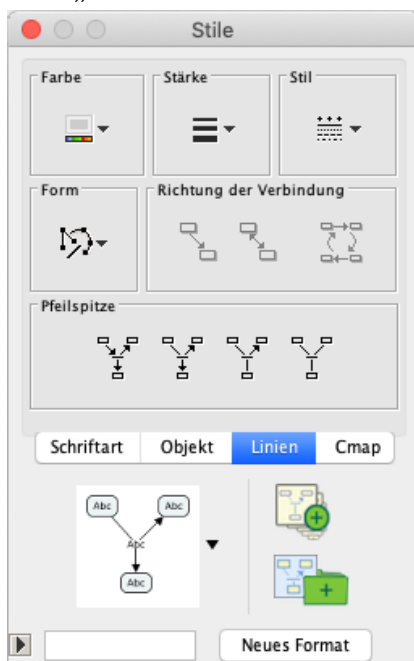


Abbildung 17: Die hier ausgewählte Option für das Zeichnen von Pfeilen unterstützt das Concept Mapping adäquat.

Über *Bearbeiten -> Quelllinks Einfügen & Bearbeiten* können Medien oder andere CMaps mit einem Begriff verlinkt werden. Klicken auf den Begriff öffnet dann das Medium.

Eine Anleitung, die auch im Unterricht eingesetzt werden kann finden Sie online (**siehe Download-Links**).



**Material / System- / Ausstattungsvoraussetzungen:**

<b>Internet:</b>	ist im Betrieb nicht nötig (außer Sync-Funktion soll genutzt werden)		
<b>Geräte:</b>	PC, Mac oder iPad		
<b>Betriebs- system:</b>	Als Programm für Windows, Mac, Linux oder als App für iOS		
<b>Preis:</b>	kostenlos, bei iPad-App In-App Kauf (4,99€) für Sync-Nutzung (empfohlen)		
<b>Download- Links:</b>	CmapTools (PC / Mac)	CmapTools (iPad)	Arbeitsblätter



[www.cmap.ihmc.us/  
products/](http://www.cmap.ihmc.us/products/)



[apps.apple.com/us/ap  
p/cmaptools/id9279871  
08?ign-mpt=uo%3D4](https://apps.apple.com/us/app/cmaptools/id927987108?ign-mpt=uo%3D4)



[www.qr4.at/Lbkc6U](http://www.qr4.at/Lbkc6U)

**Unterrichtsbeispiel***Vorbereitung*

Abgesehen von der Installation des Programms bzw. der App ist keine weitere technische Vorbereitung nötig. Pro Schülerin oder Schüler sollte ein Gerät vorbereitet werden. Stehen weniger Geräte zur Verfügung, können Concept Maps auch kooperativ erstellt werden. Je nach Thema und Vertrautheit der Lerngruppe mit der Methode, sollte unterstützendes Material vorbereitet werden (siehe praktische Tipps).

Es ist empfehlenswert, eine eigene „Experten Map“ zu erstellen, um mögliche Probleme zu antizipieren (siehe Anknüpfungsmöglichkeiten).

*Durchführung*

Im Folgenden stellen wir den Einsatz von CmapTools in einer Doppelstunde zum Abschluss des Themas Säuren und Basen dar. Ziele sind die Erläuterung der Unterschiede zwischen den Säure-Base Theorien, adäquater Umgang mit digitalen Medien sowie der Kompetenzbereich Kommunikation.

Dazu sollen die SuS, die verschiedenen Säure-Base-Konzepte in einem Concept Map darstellen, vernetzen und ihr Vorgehen reflektieren. Wir gehen von einer Situation aus, in der die Lernenden nicht dauerhaft über Laptops oder Tablets verfügen. Daher ist die Erstellung des Concept Map auf eine Doppelstunde begrenzt. Wenn die Lerngruppe bereits mit Concept Maps vertraut ist, kann Übung 1 und 2 entfallen.

*Einführung von Concept Maps (5 Min)*

Um in der Stunde über ein gemeinsames Vokabular zu verfügen, erhalten die SuS zunächst eine Information zu den Begrifflichkeiten von Concept Maps: Konzept, Relation und Proposition [6] (vgl. Regis et al.; Abb. 2).

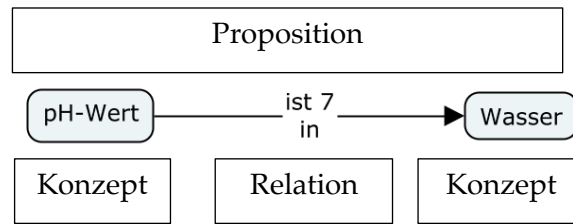


Abbildung 18: Mögliche Information zu Elementen einer Concept Maps

### Übung zu Erstellung von Concept Maps (10 Min)

Die Regeln von Concept Maps sind nicht trivial. Deshalb sollten Lernende das Concept mapping üben [7]. Dazu sollte ein möglichst lebensnahes Thema gewählt werden, beispielsweise Serien, zu dem ein Concept Map erstellt werden soll [8]. Zu diesem Thema sollen die Schülerinnen und Schüler mit Hilfe einer schrittweisen Anleitung ein erstes Concept Map anfertigen. Diese Übung kann mit der nächsten Übung (3) kombiniert werden.

Tabelle 6: Mögliches Vorgehen bei der Erstellung von Concept Maps (vgl. [8])

Vorgehensweise	Beschreibung
1. Lesen der Aufgabenstellung	Zwei Möglichkeiten: a) Concept Map als Zusammenfassung eines Texts b) Concept Map zu einem vorgegebenen Thema. a) Text lesen.
2. Begriffsliste erstellen	Lies den Text noch einmal, markiere Begriffe und bilde anschließend eine Liste wichtiger Begriffe. b) Brainstorming Erstelle eine Begriffsliste zum Thema.
3. Erstellte Begriffsliste kontrollieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sind alle Begriffe notwendig?</li> <li>• Fehlt etwas?</li> </ul>
4. Verteilen und Verbinden der Begriffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verteile die Begriffe nach Zusammengehörigkeit und verbinde zusammengehörende mit einem Pfeil</li> <li>• Wähle eindeutige und prägnante Beschriftungen für die Pfeile.</li> </ul>
5. Beschriftung der Pfeile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Beschriftung sollte deutlich machen, wie die verbundenen Begriffe zusammenhängen.</li> </ul>
6. Überprüfung der Concept Map	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weisen alle Pfeile in die richtige (Lese-)Richtung</li> <li>• Sind die Beschriftungen passend?</li> <li>• Müssen Pfeile ergänzt werden?</li> </ul>

### Übung zur Arbeit mit CmapTools (10 Min)

Um die Lerngruppe an das Programm heranzuführen, sollen die Schülerinnen und Schüler ein kleines Concept Map in CmapTools erstellen und dabei die folgenden Operationen durchführen. Dazu kann die Anleitung gereicht werden (siehe Download-Arbeitsblätter):

1. Erstellen einer Proposition
2. Verschieben eines Konzepts
3. Verbindung eines Konzepts mit einem anderen Konzept (Querverbindung)
4. Umdrehen einer Pfeilrichtung



## 5. Löschen eines Feldes

Währenddessen und im Anschluss können Fragen zum Programm bzw. dem Vorgehen besprochen werden. Dazu werden die Lernenden gebeten, Schwierigkeiten zu äußern und ggf. wie sie mit diesen Schwierigkeiten umgegangen sind.

### *Concept Mapping (45 Min)*

Die Lerngruppe erhält anschließend den Arbeitsauftrag, anhand des Metakognitionsbogen (Anhang) die folgenden Schritte abzuarbeiten, um ein Concept Map zu Säuren und Basen zu erstellen:

1. Notiere Begriffe, die Du für den Vorgegebenen Inhalt (Säuren und Basen) als bedeutend erachtest.
2. Gruppier die für Dich wichtigsten Begriff zentral auf die Arbeitsfläche.
3. Ordne weitere Begriffe in Abhängigkeit ihrer Bedeutung und ihres Zusammenhangs um diese herum.
4. Verbinde dabei die Begriffe, und benenne die Zusammenhänge als Relation.
5. Fahre fort, bis alle ursprünglich wichtigen Begriffe im Concept Map integriert sind.

Auf diesen Arbeitsauftrag entfällt der Großteil der Zeit. Etwa 45 Minuten sollten die Schülerinnen und Schüler Zeit haben, um Anhand ihres Materials ein Concept Map zu erstellen. Sie können weiterhin auf die Anleitung zurückgreifen.

Als Lehrkraft unterstützen Sie die Lerngruppe bei der Erstellung. Vor allem in der Anfangsphase (Brainstorming) kann es zu Schwierigkeiten kommen. Hier kann es hilfreich sein, einzelne Begriffe vorzugeben (siehe Scaffolding). Mit vorsichtigen Impulsen können die Schülerinnen und Schüler auf Baustellen in ihrer Map aufmerksam gemacht werden.

### *Reflexion (15 Min)*

Anschließend sollen sich die Schülerinnen und Schüler ca. 15 Minuten mit ihrem Tischpartner über ihre Concept Maps austauschen. Ziel dieser Phase ist es, ausgehend von den Concept Maps über chemische Inhalte zu diskutieren. Die Schülerinnen und Schüler erhalten dazu die Arbeitsaufträge:

1. Vergleiche dein Concept Map mit deinem Nachbarn.
2. Haltet Gemeinsamkeiten und Unterschiede fest.
3. Halte auf dem Reflexionsbogen fest, was du gelernt hast und was du noch nicht verstanden hast.

Wertvoll sind vor allem die Lernschwierigkeiten, die die Lernenden auf dem Reflexionsbogen festhalten. Da auch andere daran lernen können, lohnt es sich, diese (ggf. anonymisiert) zu sammeln und zu besprechen.

### *Praktische Tipps*

Im Sinne von gestuften Hilfen kann der Prozess des Concept mappings unterstützt werden. Eine erste Hilfe sind **Prozesshilfen**, die das Vorgehen erläutern und in Teilfragen aufgliedern. **Stichwortlisten** können vorbereitet werden, damit Lernende darauf zurückgreifen können, die mit dem Brainstorming Schwierigkeiten haben. **Halbfertige Concept Maps** geben Lernenden, die mit der Anfertigung überfordert sind eine Anknüpfungsmöglichkeit.

Um das Potenzial der Selbst- bzw. Fremdrelexion auszuschöpfen, kann man mit den Schülerinnen und Schülern besprechen, dass sie Relationen (z.B. andersfarbig) markieren sollen, bei denen sie sich nicht sicher sind oder zu denen sie gerne mehr wüssten. Dadurch kann auf Gesprächsbedarf aufmerksam gemacht werden.

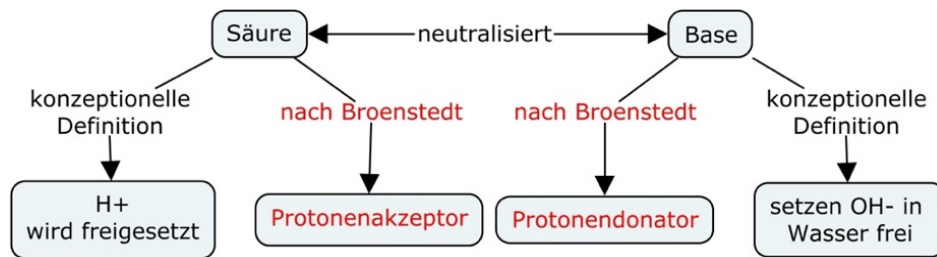


Abbildung 19: Schüler\*inne können Relationen farbig markieren, bei denen sie sich nicht sicher sind.

Eine andere sinnvolle Nutzung unterschiedlicher Farben ist es, Repräsentationsebenen explizit zu machen. Die Lernenden sollen dazu die Begriffe der makroskopischen oder submikroskopischen Ebene zuordnen und jeweils farbig markieren.

In CmapTools lässt sich der Erstellungsprozess dokumentieren (*Werkzeuge -> Cmap Aufnahme*). Die Aufnahme eignet sich für Präsentations- oder Diagnosezwecke.

### *Weitere Anknüpfungsmöglichkeiten*

Concept Maps können zu jedem Thema erstellt werden. In diesem Artikel wurde dargestellt, wie eine Concept Map am Ende eines Themas eingesetzt werden kann. Ist den Schülerinnen und Schülern das Vorgehen erst mal bekannt, können Concept Maps auch parallel zum Unterrichtsgang erstellt und fortwährend ergänzt werden. Es empfiehlt sich, jeden Lernenden sein individuelles Map erstellen zu lassen aber auch immer wieder Phasen einzuplanen, in denen sich die Lernenden über die Maps austauschen, um auf der Peer-Ebene möglichst ungezwungen über Unterschiede diskutieren zu können.

Neben der Erstellung von Concept Maps können auch fertige Maps, sog. Experten Maps, eingesetzt und von den Schülerinnen und Schülern reflektiert werden. Auch hier ist der Hinweis vonseiten der Lehrkraft empfehlenswert, dass dieses Map eine mögliche Lösung darstellt und es nicht die Lösung zu einem Thema gibt.

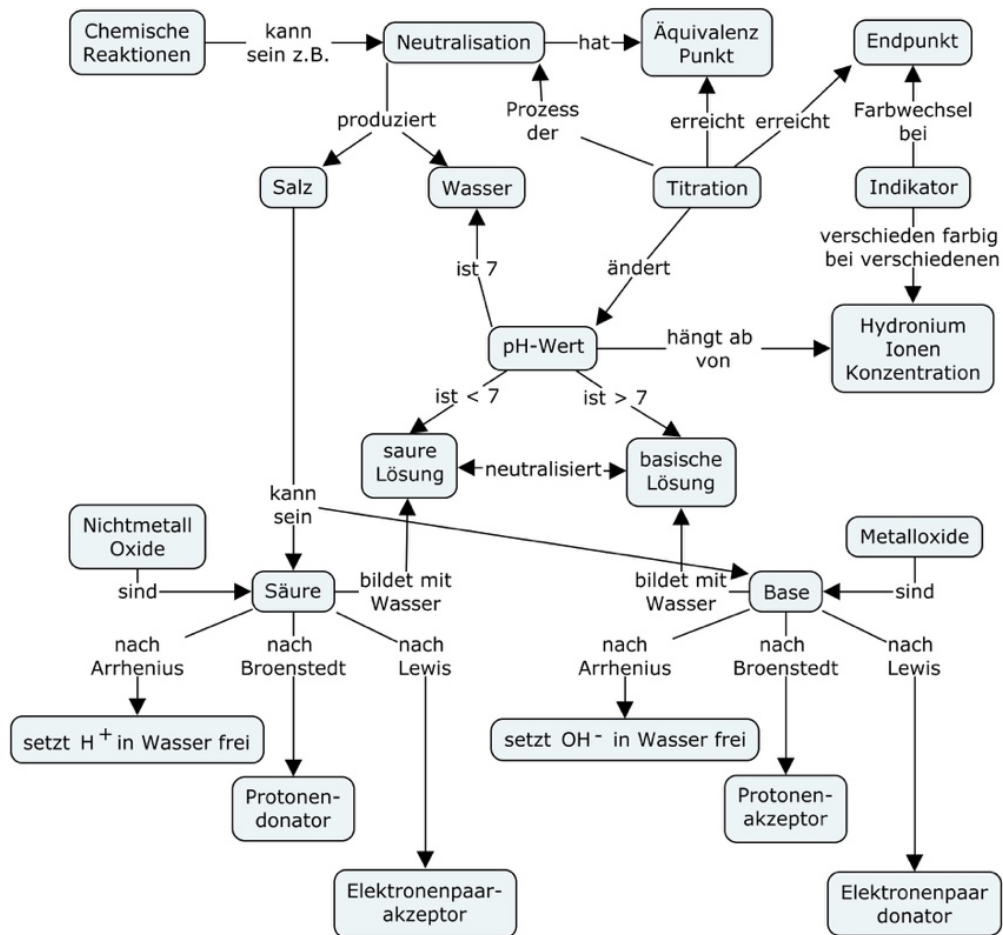


Abbildung 20: Beispiel Experten Map zum Thema Säuren und Basen (adaptiert von [9])  
In Prüfungen können Lernende zwischen mehreren kleinen Maps wählen und begründen, welche fachlich angemessener ist. Ähnlich wie Lückentexte, können halbfertige Concept Maps als Test eingesetzt werden. Dabei müssen die Lernenden eine Concept Map vervollständigen und oder korrigieren.

*Literatur*

- [1] Schneeweiß, N., & Gropengießer, H. (2019). Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Education Sciences*, 9(3). doi:10.3390/educsci9030207
- [2] Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3-19. doi:10.1023/A:1009421303064
- [3] Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2006). The origins of the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization*, 5, 175-184.
- [4] Schanze, S., & Brüchner, K. (2005). Computergestütztes concept mapping. *Naturwissenschaften Im Unterricht Chemie*, 16(90), 16–19.
- [5] Liu, X. (2004). Using concept mapping for assessing and promoting relational conceptual change in science. *Science Education*, 88(3), 373–396. doi:10.1002/sce.10127
- [6] Regis, A., & Albertazzi, P. G. (1996). Concept Maps in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 73(11), 1084-1088.
- [7] Sumfleth, E., Neuroth, J., & Leutner, D. (2010). Concept Mapping – Eine Lernstrategie muss man lernen. *Chemkon*, 17(2), 66-70. doi:10.1002/ckon.201010114
- [8] Grüß-Niehaus, T., Hundertmark, S., & Schanze, S. (2010). Computerbasiertes Concept Mapping - Inhaltliche Zusammenhänge erkennen und darstellen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, (117), 32–37.
- [9] BouJaoude, S., & Attieh, M. (2008). The Effect of Using Concept Maps as Study Tools on Achievement in Chemistry. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 4(3), 233-246. doi:10.12973/ejmste/75345



## 10.2 PUBLIKATION 2: Literaturanalyse zu den Organisationsebenen

### Angaben zur Publikation

#### Box 7: Literaturangaben von Publikation 2 - Literaturanalyse



Schneeweiß, N. & Gropengießer, H.



Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature.



Education Sciences 9(3), 207



Eingereicht am 08.07.2019, überarbeitet am 31.07.2019, akzeptiert am 31.07.2019, Online publiziert am 05.08.2019



Doppelblindes Peer-Review

DOI

<https://doi.org/10.3390/educsci9030207>

### Darstellung der Eigenleistung

Die systematische Literaturanalyse wurde von mir durchgeführt und ausgewertet. Kategorisierungen wurden gemeinsam mit Prof. Harald Gropengießer diskutiert. Prof. Harald Gropengießer stand darüberhinaus beratend zur Seite und trug zu Überarbeitung des Manuskripts bei.

### Hinweise zum Urheberrecht

Abgedruckt wird der veröffentlichte Artikel.



Review

## Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature

Niklas Schneeweiß \*  and Harald Gropengießer

Institute for Science Education, Leibniz Universität Hannover, 30419 Hannover, Germany

\* Correspondence: schneeweiss@idn.uni-hannover.de; Tel.: +49-511-7621-8809

Received: 8 July 2019; Accepted: 31 July 2019; Published: 5 August 2019



**Abstract:** Many authors suggest an explicit reflection on the levels of organisation, based on known difficulties related to understanding biological systems. Yet, there is no scientific consensus on the characteristics of biological levels and the quality of their relationships. This review intends to present the state of the current discussion in order to establish an educational argumentation as a basis for the development of learning environments and teaching experiments in biology education. For this purpose, we conducted a systematic literature review. Three databases (BIOSIS, ERIC, Fachportal-Pädagogik) were searched for literature on levels of organisation. The papers were analysed by means of a qualitative content analysis based on the following research questions: (1) Which levels of organisation do the authors name? (2) How do the authors describe the levels of organisation? (3) How do the authors describe the relationship between different levels of organisation? (4) How do the authors describe the challenges of these levels for biological education? (5) How do the authors describe the benefit of these levels for biological education? Based on the results, we propose a system of levels that features the concept of zooming-in and makes the relationships between the levels explicit.

**Keywords:** biology; systems thinking; levels of organisation; review of literature; teaching; teaching experiments

### 1. Introduction

*“Systems thinking has become synonymous to developing coherent understanding of complex biological processes and phenomena from the molecular level to the level of ecosystems”. [1] (p. 1)*

A crucial part of systems thinking is identifying parts, processes, and their relationship to each other [2]. On the one hand, levels of organisation support the conceptual separation of nested systems, and on the other hand, explanations of biological phenomena require certain levels [3]. Despite the importance of levels, scientists and students use levels differently.

When explaining a scientific phenomenon, scientists often implicitly jump between biological levels. As shown in the quote from the renowned university botanic textbook Strasburger [4], they switch between the organismic, organic, and cellular level: “Small herbaceous plants and delicate organs of bigger plants (leaves, blossoms, fleshy fruits) owe their limited strength to the interplay of turgor and wall pressure (turgescence). This becomes obvious when plants wilt” (p. 87; translated into English). These implicit switches may be trivial for experts but are confusing for students.

Students confuse levels [5]; they often explain phenomena on only one level [6] or do not interrelate concepts on different levels of organisation [7], which can also be called a lack of vertical coherence according to Verhoeff [8]. Besides, students’ “misconceptions at one level can affect ( ... ) (their) understanding at other levels [9] (p. 310). These examples show that some of the students’ everyday conceptions can be traced back to difficulties in dealing with levels of organisation. Insights into



learning difficulties related to levels of organisation can be gained from publications on various biological topics (Table 1).

**Table 1.** Publications that offer insights into learning difficulties related to levels of organisation (according to [6], amended).

Biological Topic	Publications
cell biology	[9–16]
genetics	[17–21]
physiology	[7,22–27]
ecology	[7,28,29]
evolution	[30–32]

Based on known learning difficulties in genetics, Knippels [19] suggests the Yo-Yo learning and teaching strategy. It incorporates the idea to make the levels of organisation explicit and to think to and from the levels over the course of several lessons. Other authors have since proposed learning strategies that focus on interrelating biological concepts using levels of organisation [6,33,34]. One key feature of such strategies is making the levels of organisation and their relationships explicit [6]. The aim of these strategies should be to foster horizontal and vertical coherence [6,8].

“Yet, in spite of the ubiquity of the notion, levels of organization have received little explicit attention in biology or its philosophy” [35]. Therefore, teachers and science educators who intend to incorporate these strategies into their learning environment are facing two problems: articles of science education rarely describe the relationships between levels of organisation, and there is no consensus on the quality and quantity of the levels of organisation.

Because the term *levels of organisation* is used, in both science education and biology with diverse meanings, this article intends to present the state of the current discussion in both fields as the first step towards common ground in terms of levels of organisation.

## 2. Research Questions

Based on the goal to find adequate levels for teaching, we examined:

1. How do the authors describe the levels of organisation?
2. Which levels of organisation do the authors name?
3. How do the authors describe the relationship between different levels of organisation?
4. How do the authors describe the challenges of these levels for biological education?
5. How do the authors describe the benefit of these levels for biological education?

To answer these research questions (RQ), we analysed papers retrieved in a systematic literature review.

## 3. Material

A crucial step of a literature review is the search for relevant material. The process leading to the identification of material worth analysing followed a method presented by Rönnebeck et al. [36]. Ideally, a review includes every article that offers insights into the research questions under review. Therefore, to increase the chances of including relevant material, it is advisable to use very broad search terms. This strategy comes at a cost: the majority of the first output has to be excluded later on. To keep the number of the initial publications manageable, the decision has been made to use specialised databases. By using the internal filters of the databases, non-peer reviewed articles have been excluded in the first selection process.

Since the concept of levels of organisation is being discussed among both science educators and biologists from various fields, it has been decided to analyse papers of science education and papers published in biological journals. In order to minimise false-positive search results, we used three

scientific databases that are specialised in the fields under review: ERIC (for English articles on science education), BIOSIS (for English biological articles) and Fachportal Pädagogik (for German articles on science education).

Due to levels of organisation being discussed in various fields, we used a set of keywords related to levels of organisation: biology, levels, biological, organisation/organization, hierarchy. Depending on the database, these queries had to be altered or translated.

For the second selection, we read the titles and abstracts of all articles included in the first selection and checked for relevance for RQ 1–5. Some articles were still included for a full-text reading because the relevance for RQ 1–5 could not be judged based on the abstracts. Articles with no statements on levels of organisation have been excluded. Additionally, the reference lists of the selected articles have been searched for sources not included in the corpus. Since only four articles have been added through cross-references, the scope of the initial search seemed to be appropriate.

In summary, articles have been selected for an in-depth analysis based on the following criteria (Figure 1):

1. Language: English or German (due to linguistic proficiency)
2. Type: articles in peer-reviewed journals
3. Date restrictions: none
4. Relevance: addresses levels of organisation

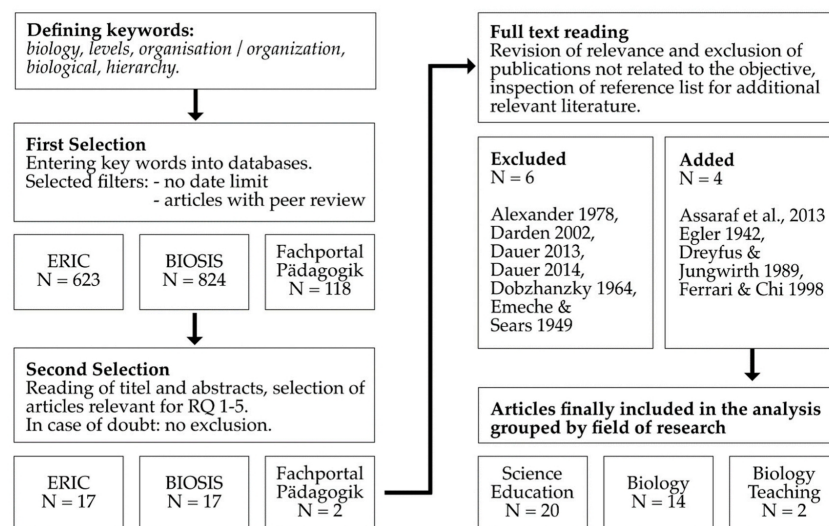


Figure 1. Schematic representation of the literature search and selection process.

The systematic literature research yielded a total of 36 articles. An overview of the selected articles is given in Table 2.



Table 2. Selected publications on levels of organisation grouped by field of research.

Field of Research	Journals	Selected Publications	
Biology	American Scientist	(Greene 1987)	[37]
	Biology & Philosophy	(Craver & Bechtel 2006)	[38]
	BioScience	(MacMahon Phillips, Robinson, & Schimpf 1978)	[39]
	Comptes Rendus Biologies	(Auger & Lett 2003)	[40]
	Ecology	(Rowe 1961)	[41]
	Frontiers in Physiology	(Findlay & Thagard 2012)	[42]
	Interface Focus	(Okasha 2012)	[43]
	Journal of Vegetation Science	(Allen & Hoekstra 1990)	[44]
	Philosophy of Science	(Egler 1942)	[45]
	Science	(Novikoff 1945; Wright 1959)	[46,47]
	Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences	(Brooks & Eronen 2018)	[48]
Synthesis	(Wimsatt 2006)	[49]	
The British Journal for the Philosophy of Science	(Feibleman 1954)	[50]	
Education	Advances in Physiology Education	(Lira & Gardner 2017)	[26]
	Education Sciences	(Knippels & Waarlo 2018)	[51]
	International Journal of Science Education	(Ferrari & Chi 1998; Flores et al. 2003; Jördens et al. 2016; Southard et al. 2017; Tripto et al. 2016)	[2,6,10,12,30]
	Journal of Biological Education	(Dreyfus & Jungwirth 1989; Düsing et al. 2018; Knippels et al. 2005; Marbach-Ad & Stavy 2010)	[9,18,20,29]
	Journal of Research in Science Teaching	(Brown & Schwartz 2009; Duncan & Reiser 2007; Songer & Mintzes 1994)	[7,21,23]
	Journal of Science Education	(Ferrari & Chi 1998)	[30]
	Journal of Science Education and Technology	(Wilensky & Resnick 1999)	[5]
	Journal of the Learning Sciences	(Hmelo-Silver et al. 2007)	[52]
Science Education	(van Mil et al. 2016; Williams, Montgomery et al. 2012)	[14,17]	
Research in Science Education	(Assaraf et al. 2013)	[27]	
Biology Teaching	Unterricht Biologie	(Ruppert 2018; Sommer & Harms 2010)	[53,54]

#### 4. Methods

To ensure a systematic and orderly procedure, the analysis has been structured by means of a qualitative content analysis (QCA) [55]. By applying the rules of the QCA, the process of analysing the material has been built systematically. The results of the content analysis have been discussed in the workgroup to ensure a discursive validation.

For RQ 2 (Which levels of organisation do authors name?), we developed a first system of deductive categories: biosphere, ecosystems, populations, organisms, organs, tissues, cells. The analysis revealed the following additional categories: earth, species, organ systems, biochemical, molecules, proteins, chromosomes, genes, atoms.

For RQ 1, 3–5, categories had to be derived based on the analysis (inductive categories). According to the QCA, the texts have been searched for statements related to the research questions. Afterwards, these statements have been coded with inductive categories.

Our approach is best explained with an example. For RQ 1, we focused on descriptions of the levels of organisation. Therefore, we selected statements that described properties of levels, like: “The relationship between the components at these varied biophysical levels is frequently not straightforward due to properties that emerge only at the level of the system” [12] (p. 2). These statements would then be coded; in this case, one code would be *Emergent Properties*. Similar codes were merged into one.

The findings will be presented in the next section.

#### 5. Findings

This literature review intends to provide insight into the range of descriptions of levels of organisation. Based on the research questions, the results of the analysis are being presented in four sections.

##### 5.1. Research Question 1: How Do the Authors Describe the Levels?

The analysed articles lack general descriptions of levels. Authors describe levels as being ordered by complexity. Higher levels have a higher complexity than lower levels: “The concept of integrative levels of organization is a general description of the evolution of matter through successive and higher orders of complexity and integration” [46] (p. 209).

Additionally, the emergent nature of levels is being described, i.e., the circumstance that new properties appear on each level: “If we now zoom back out from the molecular level [ . . . ], we can see that novel properties emerge at each step, properties that are not present at the preceding level” [56] (p. 3).

These new properties are formed through the interplay of system parts: “Each level of organization possesses unique properties of structure and behaviour which, though dependent on the properties of the constituent elements, appear only when these elements are combined in the new system” [46] (p. 209).

If some properties exist due to the interplay of lower levels, then examinations of such properties need to examine lower levels.

##### 5.2. Research Question 2: Which Levels of Organisation do the Authors Name?

To answer this question, every article that explicitly names individual levels was analysed. Terminological variations such as ecosystems and ecologic systems have been unified. Levels that are named but explicitly rejected by the author were not counted. One example for an explicit rejection is this excerpt of Rowe [41] (p. 422): “‘Deme,’ ‘population,’ ‘species,’ ‘flora’—all highly abstract taxonomic categories—must likewise be rejected as first-order objects of study.”

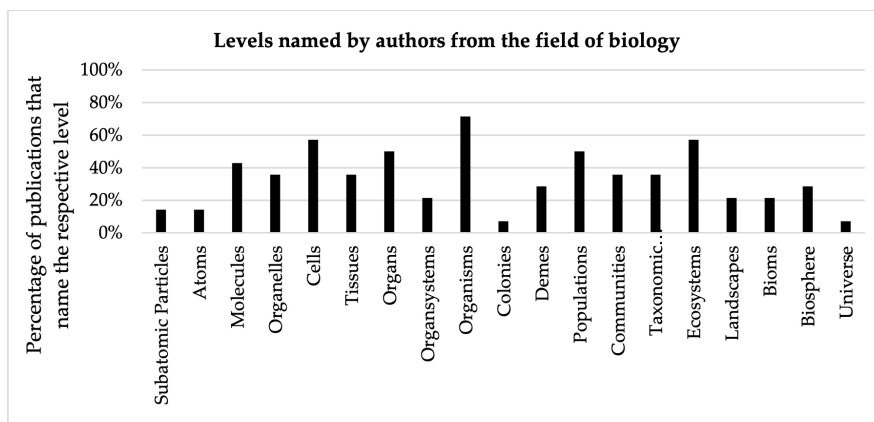
Authors name varying sets of up to 21 different levels, ranging from subatomic particles to the universe. The following paragraphs will offer insights into the levels that authors of the fields of

Biology and Science Education name. A detailed overview of the levels that each article names is given in Tables A1–A3 (Appendix A).

### 5.2.1. Biology (N = 14)

In their papers, authors name the following levels (ordered by scale): subatomic particles, atoms, molecules, organelles, cells, tissues, organs, organ systems, colonies, demes, populations, communities, taxonomic categories (species, genus, family, order, class, phylum, kingdom), ecosystems, landscapes, biomes, biosphere, and universe.

The most frequently named levels are: organisms, cells, ecosystems, organs, populations. The least frequent levels are: earth, colonies, universe, atoms, subatomic particles (Figure 2).

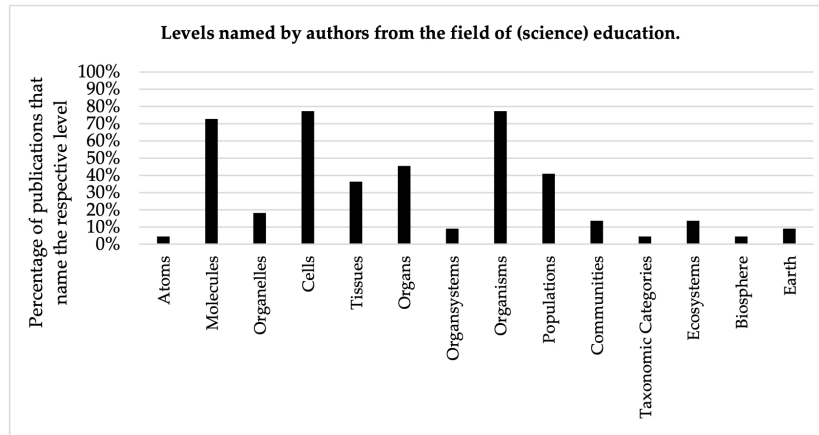


**Figure 2.** Coding results for individual levels of organisation explicitly named in articles from the field of biology (N = 14). The percentage refers to the number of papers that name the respective level at least once.

### 5.2.2. Education (N = 22)

Since both articles on science education and biology teaching focus on levels in an educational context, we have combined them into one group. Articles on science education and biology teaching name the levels of atoms, molecules, organelles, cells, tissues, organs, organ systems, organisms, populations, communities, taxonomic categories (species), ecosystems, biosphere, and earth.

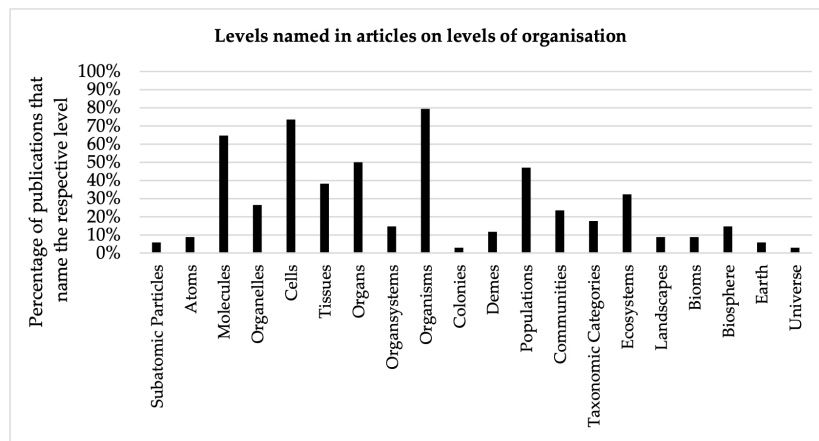
The most frequent levels are: organisms, cells, molecules, organs and populations. The least frequent levels are: atoms, taxonomic categories (species), biosphere, organ systems and earth. None of the analysed papers name the levels of subatomic particles, colonies, demes, landscapes, biomes, and universe (Figure 3).



**Figure 3.** Coding results for individual levels of organisation explicitly named in articles from the field of education (N = 22). The percentage refers to the number of papers that name the respective level at least once.

### 5.2.3. Summary

Taking all articles from the fields of biology and education together, the most frequent levels are (starting with the most frequent): organisms, cells, molecules, organs, and populations. The least frequent levels are: universe, colonies, earth, subatomic particles, and atoms (Figure 4).



**Figure 4.** Coding results for individual levels of organisation explicitly named in the analysed articles (N = 36). The percentage refers to the number of papers that name the respective level at least once.

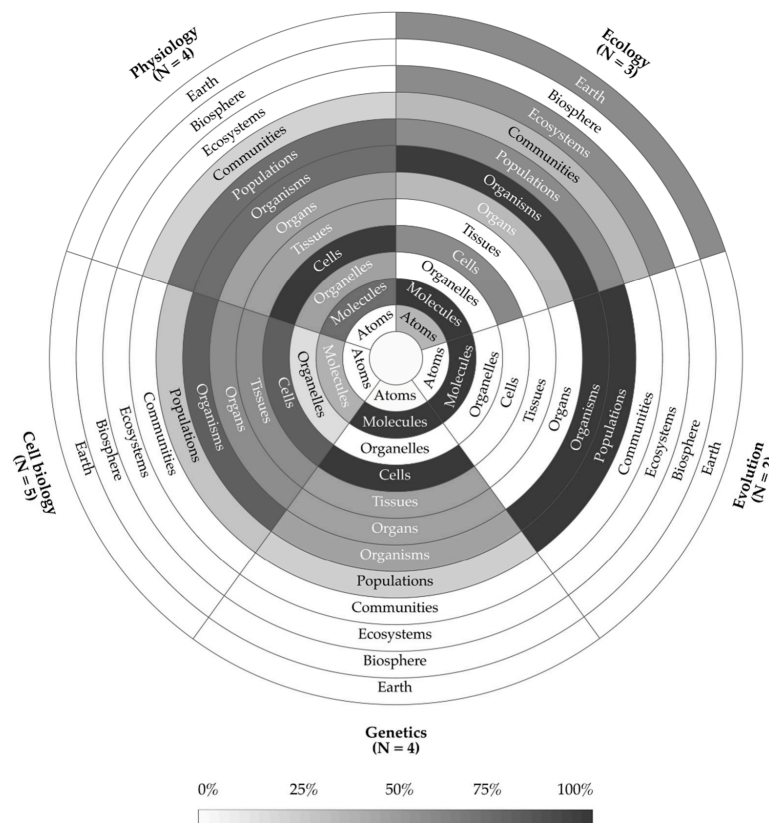
### 5.2.4. Range of Levels

The number of levels that authors name varies. The article with the most levels names 21, the one with the least levels focusses on just two. For the field of biology, the mean is 9.4 levels. Science educators name a mean of just 4.4 levels, with a range of two to eight levels. The lower mean might be due to the fact that the articles of science educators are aimed at specific biological topics or phenomenon, whereas the biological articles focus on the concept of levels in general.

### 5.2.5. Science Education Articles Use Different Levels Based on the Underlying Phenomenon.

Articles on Science Education discuss levels of organisation in the context of different biological phenomena. Therefore, we were able to group articles with similar phenomena. This resulted in a set of five central fields of biology: physiology, ecology, evolution, genetics and cell biology. Articles of each group were then analysed with regard to the levels they explicitly name (see Appendix A Table A2 for further information).

The articles on physiology (N = 4) use levels ranging from molecules to the communities, with a focus on cells, organisms, and molecules. Levels from atoms to the earth are featured in articles on ecology (N = 3), but with a focus on organisms and molecules. While articles on evolution (N = 2) mention only the levels of molecules, organisms, and populations, all of them are mentioned equally often. In the context of genetic phenomena (N = 4), levels from molecules to populations are being used. The levels of molecules and cells are named most frequently. In articles with phenomena of cell biology (N = 5) levels from molecules to populations are being named as well. In contrast to genetics, the levels of organisms and cells are named most frequently (Figure 5).



**Figure 5.** Coding results for levels named in science education articles on five central fields of biology. Colour density represents the frequency of articles naming the respective level. Articles which refer to similar phenomena name similar levels; articles which refer to different phenomena name different levels of organisation.

### 5.3. Research Question 3: How Do the Authors Describe the Relationships between Levels?

In order to answer this question, we analysed how authors describe the relationship between all or individual levels.

#### 5.3.1. Dependence of Levels

Authors described either a one-sided dependence or an interdependence of the levels. Feibleman [50], for example, describes a one-sided dependence when he states: “In any organization, the higher level depends upon the lower” [50] (p. 63). Whereas, MacMahon [39] describes the relationship as interdependent: “a given level may coact with other levels above or below it in the series. All such coactions determine function. [...]” [39] (p. 701). The interdependence becomes apparent when parts of a system are being removed. “Just as cells do not exist in isolation in the organism, neither do organs or organ-systems [...]” [46] (p. 211).

In addition to levels being dependent from one another, authors describe five different types of relationships or dependences between all or specific levels of organization:

1. The part-whole relationship,
2. The flow-of-information relationship,
3. The matter–energy relationship,
4. The coevolutionary relationship, and
5. The phylogenetic relationship.

#### 5.3.2. The Part–Whole Relationship

Characterising for the part–whole relationship is the idea that one can view objects both as a whole or part of a bigger whole, as described by Rowe [41]: “Each object will then constitute the immediate environment of the object at the level below while forming a structural-functional part of the object at the level above” [41] (p. 421).

The duality of parts and wholes is described by Novikoff [46] as: “What were wholes on one level become parts on a higher one” [46] (p. 209) (Figure 6).

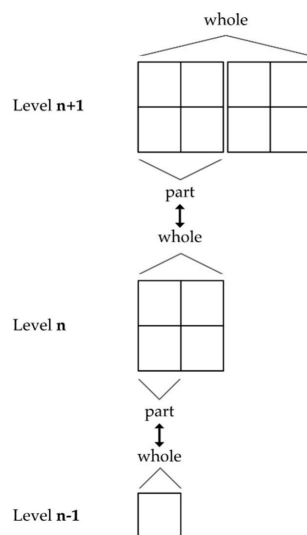


Figure 6. Duality of parts and wholes with respect to levels of organisation.



Whether a structure should be considered part or whole is up to the observer, since “[...] the question of which is parts and which is whole becomes merely a question of the level chosen for analysis, for there is some level at which every organisation is a part of some whole and another level at which it is a whole to its parts” [50] (p. 63).

#### 5.3.3. The Flow-of-Information Relationship

“This kind of hierarchy, in which information flows between levels in both directions, as well as between units within a given level, we may call a hierarchy of control”. [37] (p. 508)

“And again, it is the flow of information both horizontally and vertically that makes the organism an integrated, working whole”. [37] (p. 508)

System parts of living organisms are interrelated through both the part–whole relationship and the flow-of-information relationship. We may call the interplay of these two relationships the physiological relationship in accordance with [39].

#### 5.3.4. The Matter–Energy Relationship

The matter–energy relationship is described as follows. Since “[...] an ecosystem is a set of organisms and inanimate entities connected by exchanges of matter or energy” [39] (p. 701), organisms in an ecosystem are interrelated through the exchange of matter and energy. Both matter and energy and the exchanging entities are part of the ecosystem.

#### 5.3.5. The Coevolutionary Relationship

MacMahon et al. [39] describe coevolutionary relationships as interactions, “that affect each other’s expected reproductive success” [39] (p. 701). The effect of such interactions can be positive, negative or neutral.

“The combinations of positive, negative, and neutral effects on expected reproductive success are embodied in the familiar concepts of competition, mutualism, commensalism, etc. (Burkholder 1952). These are specific kinds of coevolutionary interactions”. [39] (p. 701)

Coevolutionary relationships can occur between different coevolutionary units. The coevolutionary units are “organisms and multiorganism aggregations known as demes, populations, and communities” [39] (p. 702).

In order to affect each other’s reproductive success, organisms not only have to exist in spatial, but in temporal proximity as well. Coevolutionary relationships only occur between organisms living at the same time. Yet, there are other relationships that occur between organisms that do not coexist in the same period of time: phylogenetic relationships.

#### 5.3.6. The Phylogenetic Relationship

Every organism is connected to others through a continuum of relatedness, in other words, through common ancestors. “This continuum of relatedness is arbitrarily partitioned by a hierarchy of terms (Figure 1). In the ideal case, the terminology will reflect levels of phylogenetic relationship. The problems in the phylogenetic line are generally those of choosing appropriate characters to establish levels. The characters should reflect [the] degree of difference. Certainly, there is no current consistency in [the] application of terms. (Are two passeriform bird families as distinct from each other as two araneomorph spider families?)” [39] (p. 702).

#### 5.4. Research Question 4: How Do the Authors Describe the Challenges of Levels for Biological Education?

What are possible challenges researchers and educators have to be aware of, when using levels of organisation for teaching? Only three of the articles analysed in this review mention such challenges.

Knippels and Waarlo [51] reviewed cases of the Yo-Yo teaching and learning strategy (Yo-Yo-thinking). In their study, they reviewed the articles regarding difficulties concerning the implementation of YoYo-thinking. Knippels and Waarlo [51] found few descriptions of challenges. Only one of the articles Knippels and Waarlo [51] reviewed offers insights into challenges: Van Mil et al. [14] reported that their teaching approach was difficult for teachers.

However, what is challenging for students? Knippels and Waarlo [51] suggest that students might confuse concepts of systems-theory and empirical part-whole entities. Accordingly, Assaraf, Dodick and Tripto [27] point out that students focus on system components rather than their interactions.

The small number of challenges mentioned is countered by a multitude of benefits, which will be presented in the next section.

##### 5.5. Research Question 5: How Do the Authors Describe the Benefit of Levels for Biological Education?

Biological phenomena need to be examined on multiple levels. "Knowledge of the laws of the lower level is necessary for a full understanding of the higher level; yet the unique properties of phenomena at the higher level cannot be predicted, a priori, from the laws of the lower level" [46] (p. 219). Since higher levels too need to be examined, at least three levels need to be dealt with, "a focal level, a lower level, and a higher one" [37] (p. 512). Therefore, one should "utilize resources at various levels, spanning these to determine appropriate loci for objects, processes, and phenomena, and explicate their relations." [49] (p. 17).

Levels can structure scientific problems and guide investigations. Since system parts are interrelated, parts cannot be examined isolated from the system [46]. "Conventional levels of organization are not scale-dependent, but are criteria for telling foreground from background, or the object from its context" [44] (p. 7). Or, as Brooks & Eronen [48] (p. 1) put it, it is the levels' "use as a descriptive term that captures the relevant details of interest in a system."

Levels not only help to focus on what is relevant with respect to a research question, but they may also help to find answers because the analysis of mechanisms and functions requires different levels. "To analyse a mechanism, we drop down one level. This is obvious when we consider that analysis moves from the whole to its parts. For we should not expect the parts to be on the same level of analysis as the whole of which they are the parts" [50] (p. 61).

According to van Mil et al. [14] (p. 524), in order to answer the question "How does it arise from the underlying parts and their activities?" one has to analyse lower levels.

Yet, "to find the purpose of any organisation we would move up one level, for then we are considering the organisation as itself a part of some higher and more complex organisation. We could perhaps study the kidney and its functions without constituent tissues and without reference to the somatic organism in which it plays a certain role or roles, but we would not get very far without the introduction into our considerations of both adjacent levels" [50] (p. 61). Therefore, if the question is: "What is its role or function, or how does it contribute to a larger whole?" [14] (p. 524) one has to move up one level.

## 6. Discussion

### 6.1. Summary

Based on common learning difficulties in biology authors like Knippels [19] and Jördens et al. [6] they argue that levels of organisation and their relationships should be used in instruction and made explicit. Yet, teachers and science educators who intend to incorporate these strategies into their learning environment are facing two problems: articles of science education rarely describe the relationships between levels of organisation, and there is no consensus on the quality and quantity of the levels of organisation. In order to give teachers and researchers an overview of the current state of discussion, we summarize:

RQ 1: General descriptions of the levels of organisation were scarce. Authors focussed on the order of levels and emergent properties.

RQ 2: Based on the analysis of N = 36 articles, it can be stated that there is currently no consensus on which levels of organisation form a consistent system. Authors name different sets of up to 21 different levels ranging from subatomic particles to the universe. Of the 36 articles reviewed, the most commonly used levels are organisms (79%), cells (74%), molecules (65%), organs (50%), and populations (47%). Additionally, we were able to show that articles on Science Education use specific levels of organisation based on the phenomenon they focus on (Figure 6).

RQ 3: In addition to levels being depended on other levels, we found descriptions of four different relationships between levels of organisation:

1. The physiological relationship (part–whole relationship and the flow-of-information relationship);
2. The matter–energy relationship;
3. The coevolutionary relationship; and
4. The phylogenetic relationship.

RQ 4: In the articles we analysed, authors rarely discuss challenges of levels of organisation. One challenge we were able to identify was pointed out by Assaraf, Dodick and Tripto [27]: students focus on system components rather than their interactions. Knippels and Waarlo [51] added that students might confuse concepts of systems–theory and empirical part–whole entities.

RQ 5: Levels can structure scientific problems and guide investigations. According to the analysed articles, this is the main benefit of the levels. Levels guide investigations mainly by focussing on what is essential in relation to the research question. Mechanisms are to be examined in lower levels, functions in higher levels.

By looking at the results from a bird’s eye view, we will now highlight and discuss the results.

- For RQ 1, we reflect on the nature of levels of organisation.
- For RQ 2, we discuss differences in names for specific levels, the usage of different levels based on the phenomenon and differences in the order of levels.
- For RQ 3, we address whether levels are interdependent or only lower levels depend on higher levels. Additionally, we focus on qualitative differences of relationships between levels.
- For RQ 4 and 5, we elucidate the challenges and benefits of levels of organisation.

#### 6.2. The Nature of Levels of Organisation

*“Yet, in spite of the ubiquity of the notion, levels of organization have received little explicit attention in biology or its philosophy. Usually they appear in the background as an implicit conceptual framework that is associated with vague intuitions. Attempts at providing general and broadly applicable definitions of levels of organization have not met wide acceptance” [35]*

Based on our review, we can confirm this statement of Brooks and Eronen. Articles answered the questions of how levels are ordered, how they behave and relate to each other, yet did not explicitly describe, what levels *are*.

Since the goal in education is an explicit reflection of the levels [6], teachers at some point will have to address the nature of levels. We propose to introduce levels of organisation themselves as zoom levels. Zooming is a concept that students are very familiar with. Zooming-in focusses on details; zooming-out includes the context. Zooming relates to the idea that levels are “criteria for telling foreground from background” [44] (p. 7). Similar to the Yo-Yo teaching and learning strategy [20], zooming in and out should be guiding for learning environments.

Now, with a working definition of *what* levels of organisation are, we may discuss *which* levels or organisation there are.

### 6.3. Ordering Levels

Looking at the results of RQ 2, it is apparent that some authors [43,47,57] use the level of genes instead of the level of molecules. Yet, explaining or understanding the causal chain from genes to traits of organisms requires the use of not only genes but other molecules like proteins as well [14]. Therefore, the more general level of molecules should be used instead of the level of genes, since the argument includes both genes and proteins.

Above the said level of molecules, Auger & Lett [40] name a biochemical level. Since chemical reactions happen between molecules and atoms, for most phenomena, a distinct biochemical level offers no benefit as opposed to the level of molecules and level of atoms. Furthermore, the biochemical level focuses mainly on the (biochemical) processes, whereas the levels of molecules and atoms focus on both structures and processes. Therefore, the levels of molecules and atoms may be more relevant for an educational use.

In the last paragraph of Section 5.1., we were able to show that articles in the field of science education often use different levels based on the phenomena the articles are focusing on. Authors like MacMahon et al. [39] and Novikoff [46] draw attention to this selective use: Depending on the phenomenon, levels “[...] might be skipped; e.g., for unicellular organisms, tissue-level relationships are not meaningful nor is the deme concept appropriate for an asexual form” [39] (p. 700). According to MacMahon et al. [39] (p. 700), the opposite may also be necessary since their “categories are not exhaustive, but merely the most commonly used; others, such as sub-family or organelle, can be used.” Novikoff [46] (p. 209) calls such sub-levels “mesoforms” and argues that the categories have soft borders since “no boundary in nature is fixed and no category air-tight.” Hence, the levels required for explanations depend on the phenomenon under examination.

Another inconsistency is the placement of taxonomic categories such as species between the level of ecosystems and communities or populations as in [37,43,47]. Taxonomic categories are useful for explanations of evolutionary processes, but they do not fit in a linear systematisation of levels beneath ecosystems, because no taxonomic group is part of the ecosystem, only individual organisms are. This will be further discussed in the following sections.

### 6.4. Levels of Organisation Can Be Related through Different Relationships

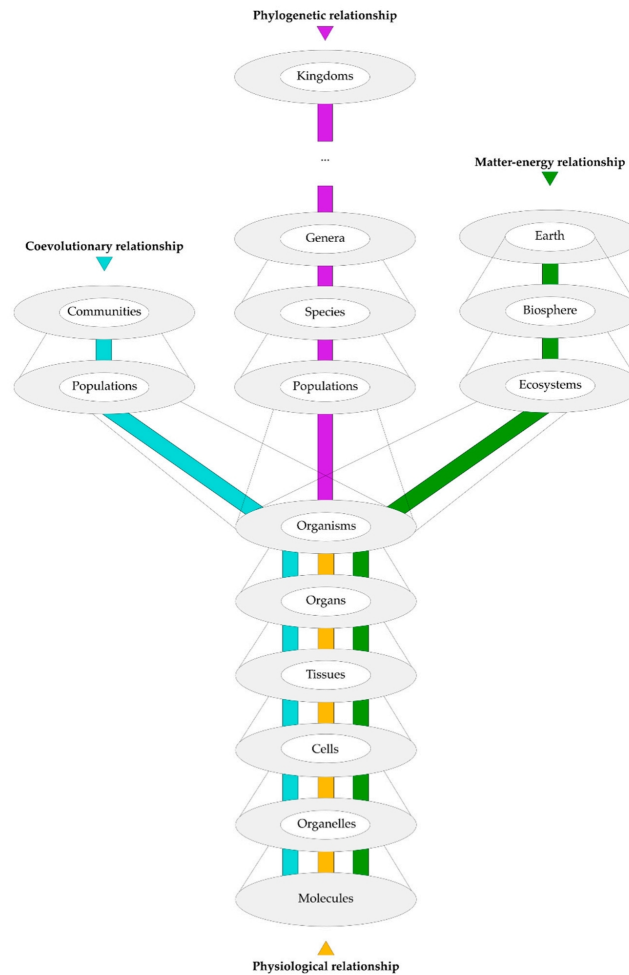
In Section 5.3. We analysed how authors describe the relationships between levels of organisation. Feibleman [50] described lower levels being dependent on higher levels. Such a one-sided dependence is incomplete because lower levels are as dependent on higher levels as higher levels are on lower levels. Cells, for instance, are dependent on organs, such as lungs, blood, and vessels for oxygen. Levels should therefore be described as interdependent. In order to grasp the inherent inconsistency of the previously described order, a closer inspection of the different relationships is needed.

The physiological relationship, which relates to the level of organisms and the levels below the organism, does not fit the whole range of levels. The parts of an organism are in physical contact and therefore are perfect parts and wholes. Others, such as populations, are not in physical contact, but they are related. Rowe [41] draws on this discussion when he argues that leaf (organ) to plant (organism) is a different relation than plant (organism) to community. Hence, the relationship between organisms, populations, and community is a coevolutionary relationship [39].

The coevolutionary relationship does not just connect the level of populations and organisms as described by MacMahon et al. [39], but the levels below the organisms as well. A salient example is the symbiogenesis, i.e., the genesis of eukaryotic from prokaryotic cells. The levels or units of coevolution are what others, e.g., Dawkins [58], call units of selection. The principle of natural selection (PNS) can affect even the levels of molecules. From the level of molecules, the PNS can be extended to all subsequent levels like organelles, cells, tissues, organs, organisms, and populations [59]. For this reason, the coevolutionary relationship should connect all levels between molecules and populations.

For ecosystems, the matter–energy relationships between the organisms of the ecosystem are characteristic. Therefore, matter–energy relationships relate organisms, ecosystems, biosphere, and the

earth. Yet, the matter–energy relationship not only interrelates the levels earth, biosphere, ecosystem and organism, but the levels below the organism as well. Parts of a living organism continuously exchange matter and energy, e.g., oxygen. This will be displayed in Figure 7.



**Figure 7.** System of levels of organisation ordered by relationships for educational purposes based on [39]. The system makes the relationships between the levels explicit and incorporates the idea of *zooming in*. By distinguishing between the relationships, it is made clear which levels are apt for which phenomena.

By looking back in time and focusing on relatives of decreasing relatedness, one explores the whole of the kinship of organisms. Organisms are related to their kinship through phylogenetic relationships.

By focusing on the different relationships, it becomes apparent why communities and populations, as well as species, do not fit between organism and ecosystems. Neither communities nor species are exchanging matter and energy in an ecosystem. Only their parts, the organisms do.

### 6.5. Levels of Organisation Can Be Formed, Based on Relationships

Coevolutionary relationships, matter–energy relationships and phylogenetic relationship form different subsets with an increasing complexity of the same wholes (see Figure 7).

In a system, the relationships serve as ordering criteria for the formation of levels. The relationship is the criteria to decide which parts of the system fall into the new category, respectively, the new level.

Starting from the level of the organism, one could move up to the next, more complex level. If one focusses on coevolutionary relationships, that would be the level of the population. Part of the level of the population would be all organisms of the same species that live in the same area and therefore are in a close coevolutionary relationship. If one focusses on matter–energy relationships, it would be the level of the ecosystem. All organisms that exchange matter and energy, as well as the non-living system components, would be part of this level. Accordingly, if one focusses on phylogenetic relationships, the next level would be the level of the species. The level of the species includes all organisms that share a common ancestor.

Since the relationships determine the formation of new levels, their differences need to be examined more closely.

### 6.6. Relationships between Levels of Organisation are Qualitatively Different

There are some qualitative differences between the relationships. The frequently named emergent properties of levels through the interaction of lower parts appear only within the (a) physiological relationship, the (b) matter–energy relationship and the (c) coevolutionary relationship. Examples: (a) The integration of structures and processes in cells cause new properties of tissues; (b) Through the matter–energy cycles between organisms in an ecosystem, a limited amount of matter is sufficient to support an ecosystem for a basically unlimited period of time; (c) Coevolutionary relationships, i.e., the interactions of organisms over time cause changes in populations.

At first glance, matter–energy relationships (b) and coevolutionary relationships (c) appear similar because (c) often entails (b). Coevolutionary relationships like mutualism, predator–prey or host–parasite can be described as matter–energy relationships as well but this is quite less or not the case for competition between or within populations and territorial behaviour. To pursue matter–energy relationships means being able to describe the circulation of matter and the flow of energy on different levels of organisation. In an ecosystem, for instance, living organisms are interconnected by exchanging carbon and its chemical compounds within the carbon cycle [19]. Coevolutionary relationships, by contrast, emerge through mutual interactions between entities on different levels of organisation, thereby affecting changes.

The levels connected via the phylogenetic relationship (see Figure 7) are just aggregations of more and more organisms with a declining degree of relationship. Since the criterion is not interaction, but phylogenetic relationship, it is not emergent in a sense that the parts form a new whole with new properties.

Another difference exists in the degree of the interdependence of the levels. There is a strong interrelation between the levels connected by the physiological relationship. Failure at any level can cause severe damage to the organism. A lesser degree of interdependence is the matter–energy relationship. The extinction of individual organisms may not destroy but change an ecosystem.

Organisms in phylogenetic relationships are not interdependent. Since living organisms would not exist without their ancestors, one may call it a one-sided dependence.

### 6.7. Meeting the Challenges and Benefits

Knippels and Waarlo [51] stated that students might confuse concepts of systems-theory and empirical part–whole entities and, therefore, have difficulties understanding emergent properties. Understanding a system as just a sum of its parts undercuts the importance of the interactions.

Assaraf, Dodick, and Tripto [27] pointed out that students focus on system components rather than their interactions. Reflecting with students, which structures relate to which level might strengthen these misconceptions. Thus, the reflexion should include the relationships. Since the relationships are manifested through interaction between system components, an explicit reflexion might foster an understanding of systems as being formed by interacting and interrelated components.

Ideally, levels may structure the investigation of biological phenomena, by guiding students either upwards or downwards. Mechanisms are to be examined in lower levels, functions in higher levels.

### 7. System for Educational Purposes

Since levels above the organism cannot be stacked in a linear order, an alternative to the linear systematisation is needed. MacMahon et al. [39] propose a system that places both taxonomic groups and ecosystems side by side above organisms. It is based on the premise that the levels are related through different kinds of relationships. Based on research questions 1–3, and [39], we propose a system of levels for educational purposes (Figure 7).

The proposed system of levels of organisation is based on two premises: Zooming and relationships between levels. Since there are qualitative differences between the relationships, the system reflects these differences in its structure. The relationships can thus be made explicit. We propose that the relationships between the levels of organisation should be part of meta reflexion in instruction too, in order to foster vertical coherence [8].

This system also meets the needs of phenomenon specific levels. Depending on the phenomenon or, more precisely, the research question, different relationships and levels have to be used.

### 8. Implications

Based on the results of RQ 1 to 5, we present a system of levels (Figure 7). Depending on the phenomenon and the research question, different sets of levels and relationships are apt in school settings. In order to teach the carbon cycle, for example, it may be fruitful to focus on matter–energy relationships and to trace matter [29]. Making these different relationships explicit as in Figure 7 may help students construct causal connections between levels of organisation and therefore between biological phenomena and their causes. Furthermore, the system may help teachers and researchers choose the levels necessary for biological explanations.

Most notably, this is the first literature study to our knowledge on the use and implications of levels of organisations in both biology and science education. Our results may help teachers and science educators implementing levels of organisation into their learning environments and therefore to identify parts, processes, and their relationship to each other, which are all crucial aspects of systems thinking [1,2].

Systems thinking is described as a cognitive skill [1] that is much needed, to understand interrelations and dependences in systems and demands students “to translate environmental problems, such as water pollution, into a more coherent understanding of the environment” [60] (p. 519). Understanding phenomena like water pollution or the carbon cycle as systems may be crucial to peaceful coexistence with the environment [61]. Students who can understand their environment as a system might be better equipped to evaluate its changes [62,63].

In our project, we analysed how authors describe levels of organisation. Based on our categories, subsequent research could analyse, how authors think about levels of organisation.

We argue that the appropriateness of levels should be evaluated with respect to their ability to foster students’ understanding. There is not yet valuable insight into the challenges of students with regard to working with levels of organisation (5.4.). Further research should consequently focus on the benefits and challenges of explicit reflection of said levels. Teaching experiments are currently being conducted, based on the developed systematisation, in order to evaluate students’ learning gains and difficulties with interventions that feature levels of organisation.



### 9. Limitations

Nevertheless, there are some limitations of this paper we would like to address. The first one concerns the databases and keywords used to gather the first selection of articles. By using relevant keywords and databases, we aimed at a comprehensive collection of material.

Although due to the complex process leading to the identification of relevant articles, we are confident about having sufficient material, there is still a possibility that we did not identify some relevant papers. Different keywords or databases might have led to additional publications.

Another decision we made was to limit the language of the material to English and German. Including other languages might have led to an even broader collection of material. To account for these limitations, we tried to make the selection process as transparent and explicit as possible.

Furthermore, the proposed system of levels has not yet been empirically tested. As of now, it is based solely on the current state of discussion about levels of organisation.

**Author Contributions:** Both authors listed have made a substantial, direct and intellectual contribution to the work, and approved it for publication.

**Funding:** This research received no external funding.

**Acknowledgments:** We thank our colleagues of the Institute for Science Education of Leibniz Universität Hannover. The publication of this article was funded by the Open Access fund of Leibniz Universität Hannover.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.





## Appendix A

**Table A1.** Biological articles and the levels they name. Some articles mention levels but explicitly reject certain levels. These rejected levels are being highlighted by crossing them out.

[45]	[46]	[47]	[41]	[39]	[37]	[44]	[40]	[43]	[42]	Σ
		World Biota	Universe	Bio-Sphere		Bio-Sphere				1
			Eco-Sphere							4
			Regional		Biota	Biom				3
			Ecosystem							3
Ecosystem		Local Biota	Local			Landscape				3
		Ecologic-Systems	Eco-System		Ecosystem	Ecosystem	Ecosystem	Ecosystem		8
			Ecosystem	Ecosystem						8
Vegetation			Kingdom	Phylum						5
			Class	Order						5
			Family	Genus						5
Biotic Communities		Species	Species	Species	Species			Species		5
Plant Communities				Community	Community	Community	Community			5
	Population	Population Deme	Population Deme	Population Deme	Population Deme	Population	Population		Social groups	7
								Demes		4
								Colonies		1
Organism	Organisms	Individual	Organism	Organism	Organism	Organism	Organism/Individual	Kin-Groups	Organism	10
	Organ-Systems		Organ-System	Organ-System				Organism		3
	Organs	Organ	Organ	Organ					Organs	7
	Tissues	Organ Tissues	Organ Tissues	Organ Tissues				Organic	Organ Tissue	5
	Cells	Cells	Cells	Cells		Cell	Cellular	Cells	Cells and cellular products	8
		Cytoplasm and nucleus		Subcellular Structure					Organelles	5
		DNA					Biochemical/Molecular	Chromosomes	Organelles	6
		Genes		Molecule	Genes			Genes	Molecules	2
				Atom					Atoms	2
				Sub-Atomic Particle					Sub-Atomic Particles	2
5	6	10	8	21	8	9	8	10	9	



**Table A2.** Science education articles and the levels they name.

Genetics				Cellbiology				Physiology				Evolution		Ecology			No To-Pic	Z				
[20]	[21]	[18]	[64]	[9]	[5]	[10]	[14]	[12]	[26]	[52]	[25]	[27]	[30]	[6]	[29]	[52]	[7]	[51]				
															Earth Ecosystems		Global Ecosystem		2			
															Species				2			
Population						Population		Population				Community		Population	Population	Populations	Communities Populations	Population	8			
Organism		Macro (organismal)				Organism	Organism	Bodily Level (organism)	Organismal	Organismal		Organismal	Organism	Individuals		Organisms	Individuals	Organism	Organism	15		
															Phenotype					2		
																				9		
	Organs Tissues		Organs Tissues	Organs Tissue		Organ	Organ Tissue Cellular Level	Tissue	Organ Tissue				Organ Tissue			Organs			Organ	7		
Cell	Cells	Micro (cellular)	Cells	Cells		Cell	Cellular Level Subcellular	Cellular	Cellular	Cellular	Cellular	Cellular	Cellular	Cellular		Cells		Cellular	Cell	15		
																				3		
Molecule	Proteins Gene DNA	Molecular (Biochemical)	Chromosomes Genes Proteins				Molecular level	Molecular	Molecular				Molecular	Subcellular Materials		Genes	Genotype	Molecules	Genes	Biochemical	Molecules	15
																Atoms					1	
4	6	3	5	4	2	3	6	5	5	2	4	6	4	3	8	4	5	5				

**Table A3.** German teaching articles and the levels they name.

[53]	[54]	Σ
Biosphäre		1
Ökosystem		1
Biozönose		1
Population		1
Organismus	Organismisch	2
Organ		1
Gewebe		1
Zelle	Zellulär	2
Organelle		1
(Makro-) Moleküle	Molekular	2
10	3	

### References

1. Verhoeff, R.P.; Knippels, M.-C.P.J.; Gilissen, M.G.R.; Boersma, K.T. The Theoretical Nature of Systems Thinking. Perspectives on Systems Thinking in Biology Education. *Front. Educ.* **2018**, *3*. [[CrossRef](#)]
2. Tripto, J.; Ben-Zvi Assaraf, O.; Snapir, Z.; Amit, M. The ‘What is a system’ reflection interview as a knowledge integration activity for high school students’ understanding of complex systems in human biology. *Int. J. Sci. Educ.* **2016**, *38*, 564–595. [[CrossRef](#)]
3. Robinson, W.S. Zooming in on Downward Causation. *Biol. Philos.* **2005**, *20*, 117–136. [[CrossRef](#)]
4. Kadereit, J.W.; Kost, B.; Körner, C.; Sonnewald, U. *Strasburger Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*, 37th ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2014; pp. 1–931.
5. Wilensky, U.; Resnick, M. Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World. *J. Sci. Educ. Technol.* **1999**, *8*, 3–19. [[CrossRef](#)]
6. Jördens, J.; Asshoff, R.; Kullmann, H.; Hammann, M. Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution. *Int. J. Sci. Educ.* **2016**, *38*, 960–992. [[CrossRef](#)]
7. Brown, M.H.; Schwartz, R.S. Connecting photosynthesis and cellular respiration: Preservice teachers’ conceptions. *J. Res. Sci. Teach.* **2009**, *46*, 791–812. [[CrossRef](#)]
8. Verhoeff, R.P. *Towards Systems Thinking in Cell Biology Education*; CD-β Press: Utrecht, The Netherlands, 2003.
9. Dreyfus, A.; Jungwirth, E. The pupil and the living cell: A taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. *J. Biol. Educ.* **1989**, *23*, 49–55. [[CrossRef](#)]
10. Flores, F.; Tovar, M.E.; Gallegos, L. Representation of the cell and its processes in high school students: An integrated view. *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, *25*, 269–286. [[CrossRef](#)]
11. Hilge, C. *Schülervorstellungen und Fachliche Vorstellungen zu Mikroorganismen und Mikrobiellen Prozessen: Ein Beitrag zur Didaktischen Rekonstruktion*; Didaktisches Zentrum der Carl von Ossietzky Universität: Oldenburg, Germany, 1999.
12. Southard, K.M.; Espindola, M.R.; Zaepfel, S.D.; Bolger, M.S. Generative mechanistic explanation building in undergraduate molecular and cellular biology. *Int. J. Sci. Educ.* **2017**, *39*, 1795–1829. [[CrossRef](#)]
13. Dreyfus, A.; Jungwirth, E. The cell concept of 10th graders: Curricular expectations and reality. *Int. J. Sci. Educ.* **1988**, *10*, 221–229. [[CrossRef](#)]
14. Van Mil, M.H.W.; Postma, P.A.; Boerwinkel, D.J.; Klaassen, K.; Waarlo, A.J. Molecular Mechanistic Reasoning: Toward Bridging the Gap Between the Molecular and Cellular Levels in Life Science Education. *Sci. Educ.* **2016**, *100*, 517–585. [[CrossRef](#)]
15. Zamorra, M.C.; Guerra, M. Misconceptions about Cells. In Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Ithaca, NY, USA, 1–4 August 1993.
16. Ummels, M.H.J.; Kamp, M.J.A.; de Kroon, H.; Boersma, K.T. Designing and Evaluating a Context-based Lesson Sequence Promoting Conceptual Coherence in Biology. *J. Biol. Educ.* **2014**, *49*, 38–52. [[CrossRef](#)]
17. Williams, M.; Montgomery, B.L.; Manokore, V. From Phenotype to Genotype: Exploring Middle School Students’ Understanding of Genetic Inheritance in a Web-Based Environment. *Am. Biol. Teach.* **2012**, *74*, 35–40. [[CrossRef](#)]



18. Marbach-Ad, G.; Stavy, R. Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *J. Biol. Educ.* **2010**, *34*, 200–205. [[CrossRef](#)]
19. Knippels, M.-C. *Coping with the Abstract and Complex Nature of Genetics in Biology Education—The Yoyo Teaching and Learning Strategy*; CD-β Press: Utrecht, The Netherlands, 2002; Volume 43.
20. Knippels, M.-C.; Waarlo, A.J.; Boersma, K.T. Design criteria for learning and teaching genetics. *J. Biol. Educ.* **2005**, *39*, 108–112. [[CrossRef](#)]
21. Duncan, R.G.; Reiser, B.J. Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *J. Res. Sci. Teach.* **2007**, *44*, 938–959. [[CrossRef](#)]
22. Schwartz, R.; Brown, M.H. Understanding Photosynthesis and Cellular Respiration: Encouraging a View of Biological Nested Systems. In *Multiple Representations in Biological Education*; Treagust, D.F., Tsui, C.-Y., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands; Heidelberg, Germany; New York, NY, USA; London, UK, 2013; pp. 203–224. [[CrossRef](#)]
23. Songer, C.J.; Mintzes, J.J. Understanding Cellular Respiration—An Analysis of Conceptual Change in College Biology. *J. Res. Sci. Teach.* **1994**, *31*, 621–637. [[CrossRef](#)]
24. Anderson, C.W.; Sheldon, T.H.; Dubay, J. The Effects of Instruction on College Nonmajors Conceptions of Respiration and Photosynthesis. *J. Res. Sci. Teach.* **1990**, *27*, 761–776. [[CrossRef](#)]
25. Stavy, R.; Eisen, Y.; Yaakobi, D. How students aged 13–15 understand photosynthesis. *Int. J. Sci. Educ.* **1987**, *9*, 105–115. [[CrossRef](#)]
26. Lira, M.E.; Gardner, S.M. Structure-function relations in physiology education: Where's the mechanism? *Adv. Physiol. Educ.* **2017**, *41*, 270–278. [[CrossRef](#)]
27. Assaraf, O.B.-Z.; Dodick, J.; Tripto, J. High School Students' Understanding of the Human Body System. *Res. Sci. Educ.* **2013**, *43*, 33–56. [[CrossRef](#)]
28. Ebert-May, D.; Batzli, J.; Lim, H. Disciplinary research strategies for assessment of learning. *Bioscience* **2003**, *53*, 1221–1228. [[CrossRef](#)]
29. Düsing, K.; Asshoff, R.; Hammann, M. Students' conceptions of the carbon cycle: Identifying and interrelating components of the carbon cycle and tracing carbon atoms across the levels of biological organisation. *J. Biol. Educ.* **2018**, *53*, 110–125. [[CrossRef](#)]
30. Ferrari, M.; Chi, M.T.H. The nature of naive explanations of natural selection. *Int. J. Sci. Educ.* **1998**, *20*, 1231–1256. [[CrossRef](#)]
31. Shtulman, A. Qualitative differences between naive and scientific theories of evolution. *Cogn. Psychol.* **2006**, *52*, 170–194. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Bishop, B.A.; Anderson, C.W. Student Conceptions of Natural-Selection and Its Role in Evolution. *J. Res. Sci. Teach.* **1990**, *27*, 415–427. [[CrossRef](#)]
33. Parker, J.M.; Anderson, C.W.; Heidemann, M.; Merrill, J.; Merritt, B.; Richmond, G.; Urban-lurain, M. Exploring Undergraduates' Understanding of Photosynthesis Using Diagnostic Question Clusters. *CBE-Life Sci. Educ.* **2012**, *11*, 47–57. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Verhoeff, R.P.; Waarlo, A.J.; Boersma, K.T. Systems Modelling and the Development of Coherent Understanding of Cell Biology. *Int. J. Sci. Educ.* **2008**, *30*, 543–568. [[CrossRef](#)]
35. Eronen, M.I.; Brooks, D.S. Levels of Organization in Biology. Available online: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/levels-org-biology/> (accessed on 10 November 2018).
36. Rönnebeck, S.; Bernholt, S.; Ropohl, M. Searching for a common ground—A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Stud. Sci. Educ.* **2016**, *52*, 161–197. [[CrossRef](#)]
37. Grene, M. Hierarchies in biology. *Am. Sci.* **1987**, *75*, 504–510.
38. Craver, C.F.; Bechtel, W. Top-down Causation Without Top-down Causes. *Biol. Philos.* **2006**, *22*, 547–563. [[CrossRef](#)]
39. MacMahon, J.A.; Phillips, D.L.; Robinson, J.V.; Schimpf, D.J. Levels of Biological Organization: An Organism-Centered Approach. *BioScience* **1978**, *28*, 700–704. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. Auger, P.; Lett, C. Integrative biology: Linking levels of organization. *C. R. -Biol.* **2003**, *326*, 517–522. [[CrossRef](#)]
41. Rowe, J.S. The Level-of-Integration Concept and Ecology. *Ecology* **1961**, *42*, 420–427. [[CrossRef](#)]
42. Findlay, S.D.; Thagard, P. How parts make up wholes. *Front. Physiol.* **2012**, *3*, 455. [[CrossRef](#)]
43. Okasha, S. Emergence, hierarchy and top-down causation in evolutionary biology. *Interface Focus* **2012**, *2*, 49–54. [[CrossRef](#)]



44. Allen, T.F.H.; Hoekstra, T.W. The Confusion between Scale-Defined Levels and Conventional Levels of Organization in Ecology. *J. Veg. Sci.* **1990**, *1*, 5–12. [[CrossRef](#)]
45. Egler, F. Vegetation as an Object of study. *Philos. Sci.* **1942**, *9*, 245–260. [[CrossRef](#)]
46. Novikoff, A.B. The Concept of Integrative Levels and Biology. *Science* **1945**, *101*, 209–215. [[CrossRef](#)]
47. Wright, S. Genetics and the Hierarchy of Biological Sciences. *Science* **1959**, *130*, 959–965. [[CrossRef](#)]
48. Brooks, D.S.; Eronen, M.I. The significance of levels of organization for scientific research: A heuristic approach. *Stud. Hist. Philos. Biol. Biomed. Sci.* **2018**, *68*, 34–41. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Wimsatt, W.C. Reductionism and its heuristics: Making methodological reductionism honest. *Synthese* **2006**, *151*, 445–475. [[CrossRef](#)]
50. Feibleman, J.K. Theory of Integrative Levels. *Br. J. Philos. Sci.* **1954**, *5*, 59–66. [[CrossRef](#)]
51. Knippels, M.-C.; Waarlo, A. Development, Uptake, and Wider Applicability of the Yo-yo Strategy in Biology Education Research: A Reappraisal. *Educ. Sci.* **2018**, *8*. [[CrossRef](#)]
52. Hmelo-Silver, C.E.; Marathe, S.; Liu, L. Fish Swim, Rocks Sit, and Lungs Breathe: Expert-Novice Understanding of Complex Systems. *J. Learn. Sci.* **2007**, *16*, 307–331. [[CrossRef](#)]
53. Sommer, C.; Harms, U. Biologische Systeme. *Unterr. Biol.* **2010**, *360*, 2–9.
54. Ruppert, W. Jo-Jo-Methode. In *Biologie Methodik*; Spörhase, U., Ruppert, W., Eds.; Cornelsen: Berlin, Germany, 2018; Volume 4.
55. Mayring, P. Qualitative Inhaltsanalyse. In *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*; Mey, G., Mruck, K., Eds.; Springer: Wiesbaden, Germany, 2010; pp. 601–613. [[CrossRef](#)]
56. Campbell, N.A.; Reece, J.B.; Urry, L.A.; Cain, M.; Wasserman, S.; Minorsky, P.V.; Jackson, R. (Eds.) *Biology*, 8th ed.; Pearson: San Francisco, CA, USA; Boston, MA, USA; New York, NY, USA, 2008.
57. Odum, E.; Barret, G. *Fundamentals of Ecology*; Thomson Brooks/Cole: Belmont, CA, USA, 2005; Volume 5.
58. Dawkins, R. *The Extended Phenotype: The Gene as the Unit of Selection*; Oxford University Press: New York, NY, USA, 1982.
59. Rosenberg, A. *Darwinian Reductionism: Or, How to Stop Worrying and Love Molecular Biology*; University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 2006.
60. Assaraf, O.B.-Z.; Orion, N. Development of system thinking skills in the context of earth system education. *J. Res. Sci. Teach.* **2005**, *42*, 518–560. [[CrossRef](#)]
61. Orion, N. An Earth Systems curriculum development model. In *Global Science Literacy*; Mayer, V.J., Ed.; Kluwer Academic: Dordrecht, The Netherlands, 2002; pp. 159–168.
62. Mayer, V.J.; Armstrong, R.E. What every 17-year old should know about planet Earth: The report of a conference of educators and geoscientists. *Sci. Educ.* **1990**, *74*, 155–156. [[CrossRef](#)]
63. Brody, M.J. Student understanding of water and water resources: A review of the literature. In Proceedings of the Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Atlanta, GA, USA, 12–16 April 1993.
64. Williams, M.; Debarger, A.H.; Montgomery, B.L.; Zhou, X.; Tate, E. Exploring middle school students' conceptions of the relationship between genetic inheritance and cell division. *Sci. Educ.* **2012**, *96*, 78–103. [[CrossRef](#)]



© 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### 10.3 PUBLIKATION 3: Entwicklung der Zoom Map

#### *Angaben zur Publikation*

##### Box 8: Literaturangaben von Publikation 3 – Entwicklung der Zoom Map



Schneeweiß, N. & Gropengießer, H.



The Zoom Map: A New Graphic Organizer to Guide Student's Explanations Across the Levels of Biological Organization.



Bioscene, 47(1), 3-14



Eingereicht am 28.05.2020, überarbeitet am 20.01.2021, angenommen und online publiziert im Mai 2021.



Peer-Review

DOI

<http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1304792.pdf>

#### *Darstellung der Eigenleistung*

Die Zoom Map wurde von mir entwickelt und mit Prof. Harald Gropengießer weiterentwickelt. Die Vermittlungsversuche wurden von mir geplant, durchgeführt und ausgewertet. Prof. Harald Gropengießer stand darüberhinaus beratend zur Seite und trug zur Überarbeitung des Manuskripts bei.

#### *Hinweise zum Urheberrecht*

Abgedruckt wird der veröffentlichte Artikel.



## Articles

### The Zoom Map: A New Graphic Organizer to Guide Students' Explanations Across the Levels of Biological Organization

Niklas Schneeweiss and Harald Gropengiesser

Institute of Science Education

Leibniz University Hanover

30167 Hanover

Germany

Email: [schneeweiss@idn.uni-hannover.de](mailto:schneeweiss@idn.uni-hannover.de)

Telephone +49-511-370-79820

#### Abstract

Employing scientific reasoning when giving biological explanations comes easily to the experienced scientist. However, students often encounter difficulty when they attempt to explain biological phenomena. One significant obstacle appears to be the failure or inability to bear in mind the levels of organization. To address this issue, learning strategies, such as the yo-yo learning and teaching strategy, recommend moving across the levels of organization and making those levels explicit in the explanation. To support yo-yo learning, we developed a new graphic organizer, the zoom map. The zoom map combines the levels of organization with concept maps. It is specifically tailored to guide students in biology on ways to distinguish, interrelate and reflect the levels of organization. In this paper, we introduce the zoom map as a tool for instruction and diagnosis. We also provide evidence from teaching experiments that demonstrate how the zoom map benefited learning.

**Keywords:** graphic organizer, concept map, levels of organization, yo-yo learning, systems thinking

#### Introduction

Employing scientific reasoning when giving biological explanations comes easily to the experienced scientist. However, students often struggle to explain biological phenomena. One significant obstacle is the failure or inability to bear in mind the levels of organization. Research conducted on a wide range of topics has revealed that the levels of organization often present an obstacle to learning in biology (Schneeweiß & Gropengiesser, 2019). Confusing the levels (Wilensky & Resnick, 1999), explaining on only one level (Jördens et al., 2016), or failing to interrelate the levels (Brown & Schwartz, 2009) are often at the root of the problem.

To assist teachers, Jördens et al. (2016), and based on previous work by Knippels (2002); Knippels et al. (2005); Verhoeff et al. (2008) adapted the yo-yo learning and teaching strategy. Moving up and down the levels of organization is the underlying principle of yo-yo learning, and this technique has been valuable for structuring learning sequences and guiding teaching processes. Nevertheless, teachers

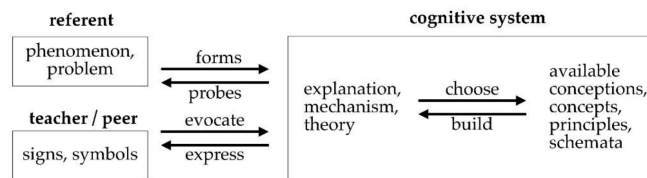
still need to explicitly encourage learners to interact with the levels of organization (Hammann, 2019).

To remedy this shortcoming, we have developed a new graphic organizer, the zoom map. This is a tailor-made tool to guide biology students and help them distinguish, interrelate, and reflect the levels of organization. In the section below, we first explain our understanding of how explanations are constructed. We then describe the starting points for the development of the zoom map, namely the concept map and yo-yo learning. Finally, using case studies taken from our teaching experiments, we explain and discuss the learning opportunities and difficulties presented by the use of the zoom map.

#### Theoretical Background

##### 2.1 Emergent construction in interaction

Students do not have existing explanations for phenomena already stored in their memory. Instead, students construct such explanations in situations of social learning and through interaction with three sources, two of which are external and one of which is internal. To construct an explanation, an individual interacts with (1) the object of reference (i.e., the

**Figure 1.***Emergent construction in interaction.*

Emergent construction in interaction (arrows) with a phenomenon, utterances of teacher or peer, and the resources of available cognitive structures.

phenomenon to be explained) (2) other people (i.e., teacher and peers) and (3) with their available cognitive resources (i.e., conceptions, concepts, principles, and schemas) (Figure 1). This process is called “emergent construction in interaction” (Boersma & Geraedts, 2009; Schwarz et al., 2008).

The construction process needs time and may involve trial and error. The result is a temporarily conscious but ephemeral explanation that rests on available stable cognitive structures.

Emergent construction in interaction results in explanations, mechanisms, and theories that usually constitute relatively complex structures. For instance, explanations do not stand alone. From a scientific standpoint, explanations should be interrelated with other kinds of knowledge. The interrelatedness of knowledge is therefore crucial to the quality of explanations (Linn et al., 2006).

### 2.2 Graphic organizers for knowledge interrelation

Graphic organizers (GOs) are tools that aid students with knowledge interrelation and have proved fruitful in the teaching of science and biology (Davidowitz & Rollnick, 2001). GOs are “visual knowledge representations” (Nesbit & Adesope, 2006) that can be used to “organize and structure information and concepts and promote thinking about relationships between concepts” (Zollman, 2015, p. 4). Concept maps (CMs) are a well-known example (Novak & Cañas, 2006).

GOs can be constructed by both the expert and the student. On the one hand, expert generated GOs may be beneficial for students because such GOs offer a coherent representation of expert knowledge (Robinson & Kiewra, 1995), and they focus on the interrelation of concepts (Hall et al., 1999). On the other hand, recent findings show that GOs

constructed by students themselves improved their comprehension skills (National Reading Panel, 2000) and led to the generation of more interrelated ideas (Schwendimann & Linn, 2016).

### 2.3 Understanding is based on experience

If we assume that GOs help students to structure and interrelate existing knowledge and that knowledge is actively built by the students based on their prior knowledge (von Glaserfeld, 1989), we must ask two crucial questions: How does basic available knowledge emerge in an individual, and how can students acquire new conceptions?

The theory of experientialism (Gropengießer, 2007; Lakoff & Johnson, 1999) suggests an answer: Cognition is embodied. Our basic concepts, principles, and schemata arise from recurrent interactions with the physical and social environment, through perception and experience. Physical experiences induce embodied concepts and schemes that can be understood directly, such as “tree” or “source-path-goal schema” (Niebert et al., 2012). Abstract concepts, such as scientific explanations, mechanisms, and theories, are not understood directly but by imaginative thinking. This process can be described as “understanding through conceptual metaphors” (Gropengießer, 2007; Lakoff & Johnson, 1999). Conceptual metaphors bridge “the gap between experience and abstract phenomena” (Niebert et al., 2012, p. 852).

Teachers should offer opportunities and environments that foster meaningful learning (Ausubel, 1968). To make learning meaningful, interventions should, on the one hand, connect to prior knowledge and, on the other hand, adequately guide the interaction process (Novak & Gowin, 1984) We propose the zoom map as a tool that would help teacher achieve both these goals..



**The Zoom Map - A Graphic Organizer to Guide Explanations**

The zoom map is based on findings taken from three areas: GOs (particularly CMs,) yo-yo learning, and research on the structure of levels of organization.

**3.1 Concept maps**

According to Novak and Cañas (2006), a CM can be characterized as follows (Figure 2):

1. A term for one concept is displayed in a box.
2. Lines may connect the boxes, with linking words or phrases (Javonillo & Martin-Dunlop, 2019) in such a way that the terms and linking words can be read as a meaningful statement.
3. The CM is arranged hierarchically: More general concepts should be placed near the top, while more specific concepts should be placed near the bottom.

Based on the theoretical background provided here, we regard the CM as an external representation that expresses the concepts or internal representations of the cognitive system. Terms in a CM denote concepts, statements denote principles, and notions and labels denote relationships.

CMs support meaningful learning by fostering a) externalization (verbalizing and writing concepts as external representations), b) interrelation and c) (re)organization of knowledge (i.e., concepts and prepositions) (Dauer et al., 2013; Fischer et al., 2002; Novak & Gowin, 1984).

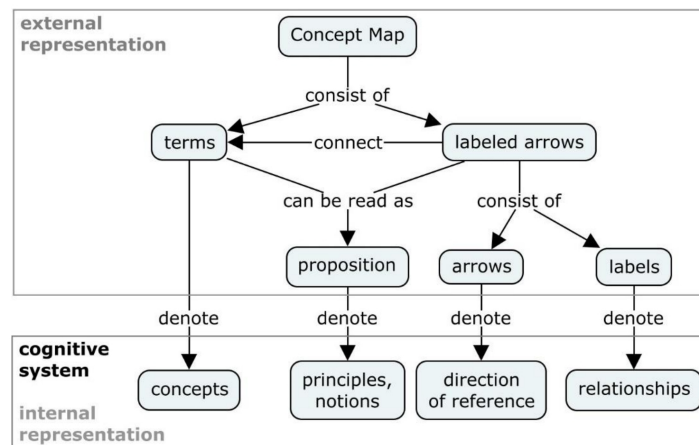
According to Schwartz and Brown (2013), GOs, and especially CMs, can help students connect system levels. The importance of making levels of organization and their relationships explicit was a key insight that we drew from our previous work (Schneeweiß & Gropengießer, 2019). However, existing approaches that used CMs in the context of systems thinking (Brandstädter et al., 2012; Dauer et al., 2013; Schwendimann & Linn, 2016) did not make levels of organization and their relationships explicit.

**3.2 Supporting systems thinking with yo-yo learning**

The yo-yo strategy builds on the idea of moving up and down the levels of organization – like a yo-yo. The goal of this strategy is to interrelate concepts at the same level (horizontal coherence) and between different levels (vertical coherence) (Hammann, 2019; Jördens et al., 2016; Knippels, 2002).

**Figure 2.**

*Self-referential concept map.*



Self-referential concept map (CM) showing its key features.

Our GO, the zoom map, incorporates and supports the steps for teaching systems thinking adapted from Jördens et al. (2016, p. 961). We present the steps with a small deviation. We added an additional step (step 2) in order to identify the components and processes (Tripto et al., 2016, p. 82) before interrelating them. We hypothesize that this will make it easier for students to:

1. Distinguish different levels of organization;
2. Identify the components and processes of a system (and relate them to a level);
3. Interrelate concepts at the same level of organization (horizontal coherence);
4. Interrelate concepts at different levels of organization (vertical coherence);
5. Think back and forth between levels (also called “yo-yo learning”)
6. Meta-reflect on the question of which levels have been transected.

### 3.3 Zooming: A metaphor for levels of organization

An abstract concept such as the levels of organization cannot be understood directly. To develop our GO, we needed a metaphor for the levels of organization. Although the term “levels of organization” is commonly used in biology, there is no scientific consensus on its description. However,

there is consensus about what the levels can do: They can structure scientific problems (Brooks, 2019; Schneeweiß & Gropengießer, 2019). As proposed by Schneeweiß and Gropengießer (2019), based on a critical literature review, zooming is a metaphor for the levels of organization. By zooming in, one focuses on increasingly smaller sections of the problem space without losing sight of the context (Brooks, 2019). By zooming out, one takes the whole, or the context, into account. The metaphor of zooming therefore introduces the notion of structuring scientific problems by focusing on different levels.

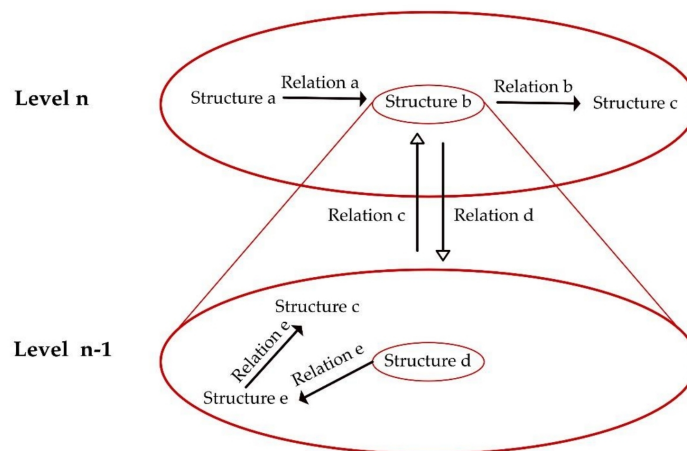
Through zooming, we can structure the biological system as consecutive levels of organization, or “zoom levels.” The levels are established and connected by different relationships (physiological, coevolutionary, phylogenetical, and matter-energy relationships) that can interrelate the system parts. Depending on the biological phenomenon or research problem being studied, an explanation may require different levels of organization (Schneeweiß & Gropengießer, 2019).

### 3.4 How to construct a zoom map

We used the metaphor of zooming in and out and combined it with a CM to create a new type of GO, the zoom map (Figure 3).

**Figure 3.**

*Model of a zoom map.*



The basic rules for drawing a zoom map were adapted from those that apply to concept mapping (Novak & Cañas, 2006):

1. The levels of organization are displayed as ellipse shapes (Eronen, 2015). By zooming in on a structure at one level, one reaches a lower level. By zooming out, one reaches a higher level.
2. Each ellipse contains the terms for particular concepts.
3. Lines may connect the terms or the levels with linking words. When read together, the linking words and terms should make sense.

The layout of the zoom map can be adapted to the phenomenon that is being taught. However, the explanation that is being sought must involve specific levels of organization. For example, explaining physiological phenomena will require the level of organism and below, while explaining evolutionary phenomena will require the levels above the organism as well, such as the level of population (Schneeweiss & Gropengießer, 2019). In addition, two zoom maps can be juxtaposed. This will be useful when comparing structures and processes in two different organisms, for example.

We will demonstrate and discuss the implementation of zoom maps in the next section.

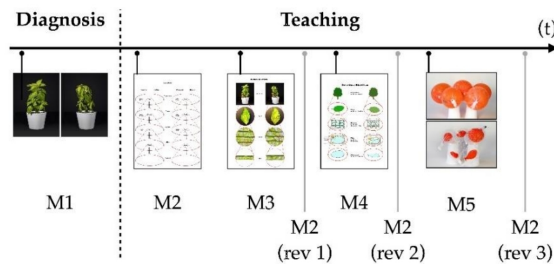
#### Our Application of the Zoom Map in Teaching Experiments

##### 4.1 Method

To investigate the potential of the zoom map, we conducted six teaching experiments (A-F). In this variant of a Piagetian interview, the interviewer has two roles: interviewer and teacher (Komorek & Duit, 2007; Steffe & Thompson, 2000). In the first part of the teaching experiment (diagnosis), all the students were interviewed so the interviewer could evaluate

#### Figure 4.

Schedule of the teaching experiment.



how much knowledge the students already had. In the second part (teaching), students were provided with learning material (see 4.2). They worked in dyads in a laboratory setting. Throughout the experiment, students were encouraged to work together and to express their thoughts. No content-related guidance was offered by the interviewer. The focus of the experiments was on the learning opportunities and difficulties that arose from using the zoom map.

Twelve high-school students, with an average age of 16.2 years, participated. All the students and their parents gave informed consent. The interviews were recorded in audio and video and transcribed afterward. We analyzed the transcripts by means of a computer-supported qualitative content analysis (Kuckartz, 2010).

##### 4.2 Material

M1: Two photographs of a variegated nettle, one well-watered and one wilted

M2: A semi-structured zoom map (Figure 5)

M3: Material showing the phenomenon on consecutive zoom levels (photographs)

M4: Material showing the phenomenon on different zoom levels (graphically)

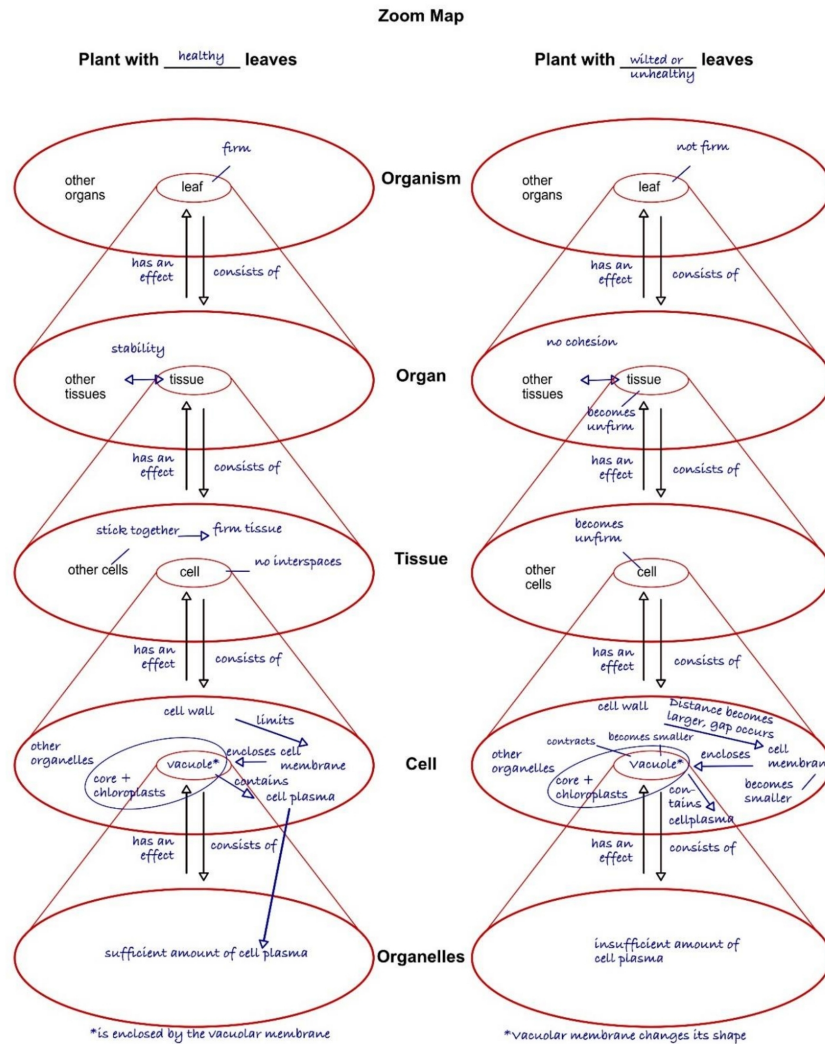
M5: Two models, one with under-inflated and one with fully inflated balloons in connected nets, modelling cells at the level of tissue.

##### 4.3 Schedule of the teaching experiment (Figure 4)

We presented two photographs of a variegated nettle (*Solenostemon scutellarioides*). One photograph shows the plant in a well-watered state, with turgescence, stiff, and erect leaves. The other photograph shows a nettle with wilted and sagging leaves. The students were asked to explain the structural differences between the two states.

**Figure 5.**

Examples of student-constructed zoom maps.



Examples of student-constructed zoom maps explaining the difference between a plant with healthy leaves and a plant with wilted leaves. The students' answers are shown in handwriting (teaching experiment C, translated from German to English).



1. Students are asked to describe and explain the phenomenon (M1).
2. Students are asked to use the zoom map (M2) to represent their explanation.
3. Students are asked to describe M3 and revise their zoom map accordingly (rev 1).
4. Students are asked to describe M4 and revise their zoom map accordingly (rev 2).
5. Students are asked to describe and use the models (M5) and revise their zoom map for the final time (rev 3).
6. Students are asked to explain the phenomenon based on their final zoom map.

#### Results

As educators we are interested in the learning opportunities offered by the zoom map and the difficulties students face when working with this graphic organizer (Figure 5). We are also interested in how students experience the use of this strategy to explain phenomena.

##### 5.1 Learning opportunities

First, although the learning strategies of zoom maps and CMs were new to them, the students were able to construct a zoom map that displayed their understanding of the phenomenon (Figure 5). In their interaction with the zoom map, students (S):

##### a) identified structures and related them to levels:

Students were able to relate relevant components of the system (plant) to the corresponding level of organization. For example, relations were drawn between the cell wall or cell

membrane and the level of the cell (Table 1). Linking system components and linking those components to the levels of organization is one of the first steps in systems thinking.

##### b) interrelated levels horizontally and vertically (Figure 5):

Based on their own zoom maps, students were able to interrelate structures horizontally and vertically. Horizontal interrelation is the interrelation of notions on the same level of organization, for example, the notion “cell wall —limits—> cell membrane” (Figure 5). An example of the vertical interrelation is the notion “organism —consists of—> organs.”

##### c) reflected on and discussed the assignment of structures to levels:

S1: Yes, exactly, but you know, we can also make an arrow like that here, [...] because this [vacuole] belongs to the cell, right?”

S2: Yes (teaching experiment E, line 92-93) (Similar in teaching experiment A, line 65-70).

##### d) Students reflected and discussed horizontal and vertical coherence:

S1: Actually, you could do the arrow the other way around, because the organelle, so to speak, took care of it (teaching experiment D, line 152).

S2: So, what are you writing now?

S1: Internal cell pressure is high or something, and for you it is just small.

**Table 1.**

System components that students related to the levels of tissue, cell and organelle in their zoom maps (translated from German).

Teaching Experiment						
Level	A	B	C	D	E	F
Tissue						Cells
Cell	Cell wall Cell membrane	Cell wall Cell membrane Vacuole Cell plasma	Cell wall Cell membrane Vacuole Cell plasma Chloroplasts core	Cell membrane Vacuole Cell plasma Chloroplasts core	Cell membrane	Cell wall Cell membrane Vacuole Cell plasma Chloroplasts core
Organelle	Liquid	Water	Cell plasma	Water	Cell membrane Vacuole	water

- S2: Yeah, okay.  
S1: And that has an effect on the tissue, right?  
S2: Yes (teaching experiment E, line 95-99)  
(Similar in teaching experiment F, line 149-152)

#### 5.2 Students' perception of the zoom map

The students understood the benefit of the zoom map:

- S2: Yes, to be able to understand a phenomenon much better [...] by proceeding in much smaller steps. You simply write down your thoughts and what you see and then simply continue working.
- S1: [...] You create things for yourself. In school you learn how things are and now S2 and I have explained this to ourselves in small steps. That's not always the case at school. Normally, we just know that something exists or is dependent on it, but not exactly why. And now we actually know quite well that really every smallest molecule (/)
- S2: (/) has an impact on something bigger (teaching experiment D, line 332-333).

#### 5.3 Learning difficulties

Despite the benefits of the zoom map, students struggled with it at first. One challenge was the assignment of structures to the levels.

- S1: If you don't have much to do with biology anyway. (/) So, we first had to clarify what a vacuole is. You could already see from the arrows that something is dependent on each

other or has an effect on each other. But if you don't know what a cell is made of, or a vacuole, then you don't have an idea (teaching experiment D, line 284).

Moreover, some students did not follow the rules for the construction of a zoom map. Their maps partly resembled mind maps and terms remained unconnected (Figure 6)

#### Discussion

Biology students struggle with the levels of organization. One of the ways in which teachers can deal with this issue is to use the principles of yo-yo learning. The explicit reflection of and reference to the levels of organization is a defining characteristic of yo-yo learning. We propose the zoom map as a new graphic organizer to guide students across the levels of organization. The zoom map supports the construction of explanations according to the principles of yo-yo learning in the following ways:

By distinguishing different levels of organization

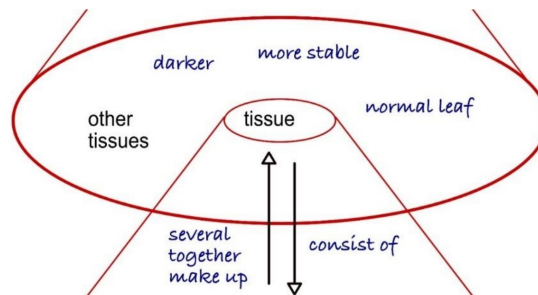
The zoom map depicts the various levels as wide, stacked ellipse shapes. Figure 5 illustrates the levels from organism to cell organelle (In the case of other phenomena, different levels would be depicted).

1. By identifying the components and processes of a system (and relating them to a level)

System elements can be assigned to a system level by writing them into the ellipse shapes. In Figure 5, the cell membrane and the cell wall are assigned to the level of cell.

Figure 6.

Zoom map of students from teaching experiment B.



Students of teaching experiment B did not interrelate terms in their zoom map (The students' answers are shown as handwriting).



2. By linking concepts that are at the same level of organization (horizontal coherence)

The system elements are linked by words or phrases that form propositions when the reading direction indicated by the arrows is followed. The rules for the construction of CMs apply. Propositions should be meaningful.

3. By linking concepts at different levels of organization (vertical coherence)

The user of the zoom map can zoom in on each structure and then describe the system at a lower level ( $n - 1$ ), for instance, when zooming from the level of tissue to that of cell. On the level of the cell, the user can again assign and link system elements. The different levels can be related vertically.

4. By thinking back and forth between levels (yo-yo learning)

When trying to explain a phenomenon, students should start at the level of that phenomenon. Usually, this is a level that is within the range of perception, like the level of organ, organism, or population. With the help of supporting material, students can move downwards and explore each level, repeating steps 1 to 4. Finally, based on their zoom map, they can try to give causal explanations of the phenomenon or identify missing knowledge. This step usually involves moving upwards in the zoom map.

5. By allowing for meta-reflection on the question “which levels have been transected?”

Moving across levels and reflecting those levels are inherent to the construction of a zoom map. The first indication of a level occurs when system elements are assigned to levels. The second indication of a level concerns the horizontal and vertical interrelations. In the construction process, students have to make choices. Comparing individual zoom maps can further support learning. The teacher should give feedback and guide the discussion as needed.

Some of the students who participated in our teaching experiments struggled to work with the zoom map. This might be due to their lack of experience with the levels of organization, especially levels lower than “organ.” This does not mean that these students will not be able to learn using this method. Teachers or peers can encourage struggling students to reconsider unrelated terms. If the student can make no further connection, missing

interrelations may indicate subject areas that the student has not mastered yet.

It is important to note that the zoom map can only support the construction of ideas and notions on a phenomenon. To enable the construction of adequate concepts, students need additional material (e.g., photographs, experiments) that offer the necessary experience of the phenomenon and to further denote conceptions (Niebert et al., 2012). Even in a zoom map, students will not be able to link concepts that they have not yet constructed in their minds. Depending on the needs of the students, different levels of scaffolding are possible.

The expert zoom map is the simplest form. Constructed by the teacher, the map guides the students during instruction or serves as a comparison with a student-constructed zoom map. Semi-structured maps are an accessible introduction to zoom maps (Figure 5). Students are asked to complete zoom maps that have been partly filled out. The semi-structured map supports the construction process by making it easier to relate structures to the levels of organization.

Students who are familiar with the principles of the zoom map can work with empty maps that depict the levels only. Eventually, advanced students can construct their own zoom maps by deciding which levels are needed to explain the phenomenon in question.

Like CMs, zoom maps can be used as a diagnostic tool. A completed zoom map expresses a student's conceptual framework across the levels of organization. The zoom map will reveal not only the learning gains that have been made but also any remaining issues related to levels of organization, for example, when interrelations are missing or there is slippage between levels.

#### Conclusion

The zoom map can be a valuable tool in the teaching and learning of biology. When students interact with a zoom map, its inherent structure allows them to construct explanations that span multiple levels. The zoom map therefore guides students across the levels of biological organization and offers starting points for horizontal and vertical coherence. Like CMs, the zoom map is a learning strategy – as such, it has to be learned (Sumfleth et al., 2010). It is therefore advisable to support students by offering different scaffolds, such as semi-constructed zoom maps or expert maps, until they understand the principles involved.

**References**

- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: a cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.
- Boersma, K. T., & Geraedts, C. (2009). The interpretation of students' lamarckian explanations. Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB),
- Brandstädter, K., Harms, U., & Großschedl, J. (2012). Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices. *International Journal of Science Education*, 34(14), 2147-2170. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.716549>
- Brooks, D. S. (2019, Oct 24). A New Look at 'Levels of Organization' in Biology. *Erkenntnis*. <https://doi.org/10.1007/s10670-019-00166-7>
- Brown, M. H., & Schwartz, R. S. (2009, Sep). Connecting Photosynthesis and Cellular Respiration: Preservice Teachers' Conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(7), 791-812. <https://doi.org/10.1002/tea.20287>
- Dauer, J. T., Momsen, J. L., Speth, E. B., Makohon-Moore, S. C., & Long, T. M. (2013, Aug). Analyzing change in students' gene-to-evolution models in college-level introductory biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(6), 639-659. <https://doi.org/10.1002/tea.21094>
- Davidowitz, B., & Rollnick, M. (2001). Effectiveness of Flow Diagrams as a Strategy for Learning in Laboratories. *Aust. J. Ed. Chem.*, 57, 18-24.
- Eronen, M. I. (2015, Jan). Levels of organization: a deflationary account. *Biology & Philosophy*, 30(1), 39-58. <https://doi.org/10.1007/s10539-014-9461-z>
- Fischer, F., Bruhn, J., Grasel, C., & Mandl, H. (2002, Apr). Fostering collaborative knowledge construction with visualization tools. *Learning and Instruction*, 12(2), 213-232. [https://doi.org/doi.10.1016/S0959-4752\(01\)00005-6](https://doi.org/doi.10.1016/S0959-4752(01)00005-6)
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung - Ein Handbuch für Lehramtsstudierende und Doktoranden* (pp. 105-116). Springer. <http://www.springerlink.de/content/gh410650h7r04843/fulltext.pdf>
- Hall, R. H., Hall, M. A., & Saling, C. B. (1999, Win). The effects of graphical postorganization strategies on learning from knowledge maps. *Journal of Experimental Education*, 67(2), 101-112. <https://doi.org/Doi.10.1080/00220979909598347>
- Hammann, M. (2019). Organisationsebenen biologischer Systeme unterscheiden und vernetzen: Empirische Befunde und Empfehlungen für die Praxis. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Eds.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (pp. 1-19). Springer Spektrum.
- Javonillo, R., & Martin-Dunlop, C. (2019). Linking Phrases for Concept-Mapping in Introductory College Biology. *Bioscene: Journal of College Biology Teaching*, 45(3), 34-38.
- Jördens, J., Asshoff, R., Kullmann, H., & Hammann, M. (2016). Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution. *International Journal of Science Education*, 38(6), 960-992. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1174790>
- Knippels, M. C. P. J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education - The yoyo teaching and learning strategy* (Vol. 43). CD-β Press.
- Knippels, M. C. P. J., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2005, Sum). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3), 108-112. <https://doi.org/doi.10.1080/00219266.2005.9655976>
- Komorek, M., & Duit, R. (2007). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619-633. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614717>
- Kuckartz, U. (2010). *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten* (Vol. 3. Auflage). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy In The Flesh*. Basic Books.
- Linn, M. C., Lee, H. S., Tinker, R., Husic, F., & Chiu, J. L. (2006, Aug 25). Inquiry learning. Teaching and assessing knowledge integration in science. *Science*, 313(5790), 1049-1050. <https://doi.org/10.1126/science.1131408>





- National Reading Panel. (2000). *Teaching children to read: An Evidence-based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction*. U.S. Department of Health and Human Services.
- Nesbit, J. C., & Adesope, O. O. (2006). Learning with Concept and Knowledge Maps: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 76(3), 413 - 448.
- Niebert, K., Marsch, S., & Treagust, D. F. (2012). Understanding needs embodiment: A theory-guided reanalysis of the role of metaphors and analogies in understanding science. *Science Education*, 96(5), 849-877. <https://doi.org/10.1002/sce.21026>
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2006). The origins of the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization*, 5, 175-184.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- Robinson, D. H., & Kiewra, K. A. (1995, Sep). Visual Argument - Graphic Organizers Are Superior to Outlines in Improving Learning from Text. *Journal of Educational Psychology*, 87(3), 455-467. <Go to ISI>://WOS:A1995RW72300010
- Schneeweiß, N., & Gropengießer, H. (2019). Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Education Sciences*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/educsci9030207>
- Schwartz, R., & Brown, M. H. (2013). Understanding Photosynthesis and Cellular Respiration: Encouraging a View of Biological Nested Systems. In D. F. Treagust & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (pp. 203-224). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8>
- Schwarz, B., Perret-Clermont, A.-N., Trognon, A., & Marro, P. (2008). Emergent learning in successive activities - Learning in interaction in a laboratory context. *Pragmatics & Cognition*, 16(1), 57-87. <https://www.ingentaconnect.com/content/jbp/pc/2008/00000016/00000001/art00004>
- Schwendimann, B. A., & Linn, M. C. (2016, Jan). Comparing Two Forms of Concept Map Critique Activities to Facilitate Knowledge Integration Processes in Evolution Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 70-94. <https://doi.org/10.1002/tea.21244>
- Steffe, L. P., & Thompson, P. W. (2000). Teaching experiment methodology: Underlying Principles and Essential Elements. In R. Lesh & A. E. Kelly (Eds.), *Research desing in mathematics and science education* (pp. 267-307). Erlbaum.
- Sumfleth, E., Neuroth, J., & Leutner, D. (2010). Concept Mapping - eine Lernstrategie muss man lernen. Concept Mapping - Learning Strategy is Something You Must Learn. *Chemkon*, 17(2), 66-70. <https://doi.org/10.1002/ckon.201010114>
- Tripto, J., Assaraf, O. B. Z., Snapir, Z., & Amit, M. (2016, Mar 3). The 'What is a system' reflection interview as a knowledge integration activity for high school students' understanding of complex systems in human biology. *International Journal of Science Education*, 38(4), 564-595. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1150620>
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2008). Systems Modelling and the Development of Coherent Understanding of Cell Biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543-568. <https://doi.org/10.1080/09500690701237780>
- von Glaserfeld, E. (1989). Cognition, construction of knowledge and teaching. *Synthese*, 80(1), 121-140.
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3-19. <https://doi.org/10.1023/a:1009421303064>
- Zollman, A. (2015). Students Use Graphic Organizers to Improve Mathematical Problem-Solving Communications. *Middle School Journal*, 41(2), 4-12. <https://doi.org/10.1080/00940771.2009.11461707>



## 10.4 PUBLIKATION 4: Evaluation der Zoom Map in Vermittlungsversuchen

### Angaben zur Publikation

#### Box 9: Literaturangaben von Publikation 4 – Evaluation der Zoom Map



**Schneeweiß, N., Mölgen, L. & Gropengießer, H.**



Guiding students' explanations across the levels of biological organisation: The case of wilted plants



Journal of Biological Education



Eingereicht im Februar 2021. Angenommen am 25.09.2022.



Doppelblindes Peer-Review

DOI

[10.1080/00219266.2022.2134174](https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2134174)

### *Darstellung der Eigenleistung*

Die Zoom Map wurde von mir entwickelt und mit Prof. Harald Gropengießer weiterentwickelt. Die Vermittlungsversuche wurden von mir geplant, durchgeführt und ausgewertet. Teile der Vermittlungsversuche wurden von Leona Mölgen zweitcodiert. Prof. Harald Gropengießer stand beratend zur Seite und trug zur Überarbeitung des Manuskripts bei.

### *Hinweise zum Urheberrecht*

Abgedruckt wird das noch nicht begutachtete Manuskript (Author's Original Manuscript).

### *Copyright Information*

This is an original manuscript of an article currently under review by Taylor & Francis in the Journal of Biological Education.

*Abdruck der Publikation (Author's Original Manuscript)*

## **Improving students' explanation of natural phenomena across the levels of biological organisation**

Niklas Schneeweiß\*, Leona Mölgen and Harald Gropengießer

Institute of Science Education, Leibniz University Hanover, 30167 Hanover, Germany

\* Correspondence: [schneeweiss@idn.uni-hannover.de](mailto:schneeweiss@idn.uni-hannover.de); Tel.: +49-511-762-18809

[orcid.org/0000-0002-2116-0359](https://orcid.org/0000-0002-2116-0359)

### **Abstract**

Explaining natural phenomena on one level of biological organisation almost always involves causes that are found on other levels. For scientists, thinking across levels when explaining physiological phenomena is an everyday task, but students often experience this as a challenge.

We developed a new graphic organiser, the Zoom Map, to help students provide explanations that go across the levels of biological organisation. The Zoom Map is designed to guide biology students when they need to reflect the levels of organisation, distinguish between them and interrelate them.

The aim of this study is to examine how the Zoom Map helps students explain a common phenomenon in plant physiology: leaves that are upright or wilted. For this purpose, we designed a teaching experiment that was attended by 13 students with an average age of 16. The students were videotaped and their explanations analysed. We used qualitative content analysis to examine the explanations. Our findings indicate that the Zoom Map improved the students' explanations of the phenomenon across multiple levels of organisation.

**Keywords:** biology, systems thinking, levels of organisation, graphic organiser, concept maps, teaching experiments

## Introduction

'In biological systems, the explanations for, or mechanisms of, phenomena apparent at one scale often lie at a different scale' (Parker et al. 2012, 12).

The primary goal of science is to describe, explain and eventually predict phenomena. Biological phenomena can seldom be reduced to one level of organisation, and causal explanations of biological phenomena usually involve entities of two or more levels (Wimsatt 2006). Comprehensive causal explanations of natural phenomena are often mechanistic (Bechtel and Abrahamsen 2005). The term 'mechanism' is being used here in a broad sense, not as mechanical push-pull systems. 'Mechanisms' include such entities as organisms, organs or molecules, their properties and the interactions between them, whether mechanical or chemical. The properties of entities influence their activities (Machamer, Darden, and Craver 2000).

Biological systems can be ordered hierarchically in levels, for example, organs consist of tissue and tissue consist of cells. Hence, to explain biological phenomena they need to be examined on multiple levels. Explanations may use components from the lower or higher levels of organisation of a given phenomenon (Novikoff 1945; Schneeweiß and Gropengießer 2019). In biology, mechanistic reasoning includes thinking across levels (Haskel-Ittah et al. 2019). Thinking across levels and explaining phenomena with due regard to the levels of organisation is an everyday task for scientists but is difficult for students (Wilensky and Resnick 1999; Brown and Schwartz 2009; Jördens et al. 2016; Düsing, Asshoff, and Hammann 2018; Knippels 2002).

Research on different biological topics, such as cell biology, genetics or physiology revealed learning difficulties related to levels of organization (Schneeweiß and Gropengießer 2019). Typically, students confuse the levels (Wilensky and Resnick 1999), explain on only one level (Jördens et al. 2016) or fail to interrelate levels (Brown and Schwartz 2009).

To address these obstacles to learning, a number of researchers have proposed learning strategies that focus on the levels of organisation (Knippels, Waarlo, and Boersma 2005; Jördens et al. 2016; Verhoeff 2003). A common characteristic of these learning strategies is that they require the levels and the relationships between them to be made explicit (Schneeweiß and Gropengießer 2019; Knippels, Waarlo, and Boersma 2005; Jördens et al. 2016; Verhoeff 2003) and that concepts should be interrelated horizontally and vertically (Verhoeff 2003; Schneeweiß and Gropengießer 2019; Hammann 2019, 2020). However, while these learning strategies offer valuable guidelines, teachers still need to explicitly encourage learners to interact with the levels of organisation (Hammann 2019; Reinagel and Bray Speth 2016).

Graphic organisers offer a way to systematically address the levels of biological organisation. These organisers are instructional tools that have proven useful in science education (Davidowitz and Rollnick 2001; Hawk 1986; Heinze-Fry and Novak 1990) and are regarded as valuable tools for knowledge organisation (Novak and Gowin 1984; Dauer et al. 2013).

We propose a new graphic organiser, the Zoom Map. In this study, we examine how students use the Zoom Map to structure their explanations of a physiological phenomenon. We will pay particular attention to the extent to which students address the levels of organisation that are relevant to the explanation.

## Theoretic Background

### Construction of explanations in interaction

When explaining biological phenomena, learners put forward various ideas (diSessa 1988; Eylon and Linn 1988; Linn and Muilenburg 1996). The ideas for explanations do not pre-exist in the students' memory (i.e. they only need to be recalled), but are generated in situ (Boersma and Geraedts 2009; Schwarz et al. 2008). For this reason, students may offer different explanations for similar problems in various phenomena (Unger 2017; Boersma and Geraedts 2009). Learners interact with (1) the object of reference (i.e., the phenomenon to be explained), (2) the expressions of other individuals (i.e., teachers or peers), and (3) with their own available cognitive resources (i.e., their internalised conceptions, concepts, principles and schemas). The process is therefore called 'emergent construction in interaction' (Figure 1).

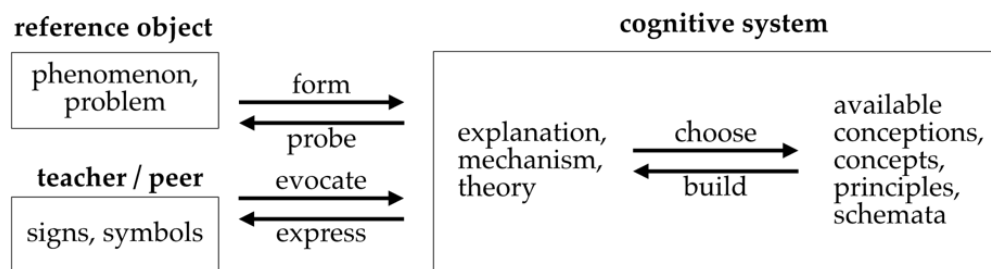


Figure 1: Emergent construction in interaction (arrows) of a phenomenon, utterances of teacher or peer, and the resources of available cognitive structures.

Emergent construction needs time and may involve multiple attempts, but it results in explanations, that are conscious for the moment. These explanations do not arise from thin air; they rest on stable cognitive structures, such as concepts and schemata. Usually, the resulting explanations, mechanisms or theories are relatively complex structures.

### Explanations of leaf structure

Scientific explanations need to satisfy different requirements from everyday explanations. We will explain this difference by looking at the phenomenon used in our teaching experiments (Figure 2). We asked, 'Why does the plant on the left have upright leaves while the plant on the right has wilted leaves?' A typical answer would be: 'Because it [the plant] has not been watered' (D, S2, l. 4, translated from German).



Figure 2: Material 1 (M1) shows a Lamiaceae plant in an upright and a wilted condition.

This explanation would suffice in everyday life, but a scientist would attempt to formulate a mechanistic explanation that connected water to the appearance and structure of the leaves. A short version of a mechanistic explanation would be: 'Water filling the cells protoplast will be

pressurised by straining the cell wall. The cell wall is a somewhat elastic, tensile strength structure. Because of its properties, the cell wall limits the expansion of the protoplast (Campbell et al. 2008, 770; Thoday 1918). The hydraulic interaction between protoplast and cell wall results in a turgid cell, comparable to an inflated football. Both the football and the cell owe their shape to the pneu principle. A pneu consists of a flexible but tensile hull and a pressurised filling (Figure 3). By the interaction of the mesophyll cells, the leaves become turgid in a process that is comparable to several inflatable tubes forming a boat. Both the leaves and the boat owe their stability to interacting well filled pneus.

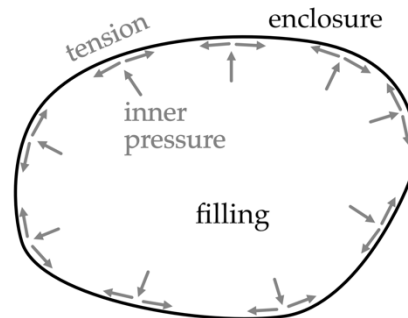


Figure 3: Principle of a pneu (Frei 1994, 160, amended).

This mechanistic explanation spans several levels of organisation, for example, from organelle to cell, tissue and organ. In Figure 4, we use a Zoom Map to visualise the mechanism:

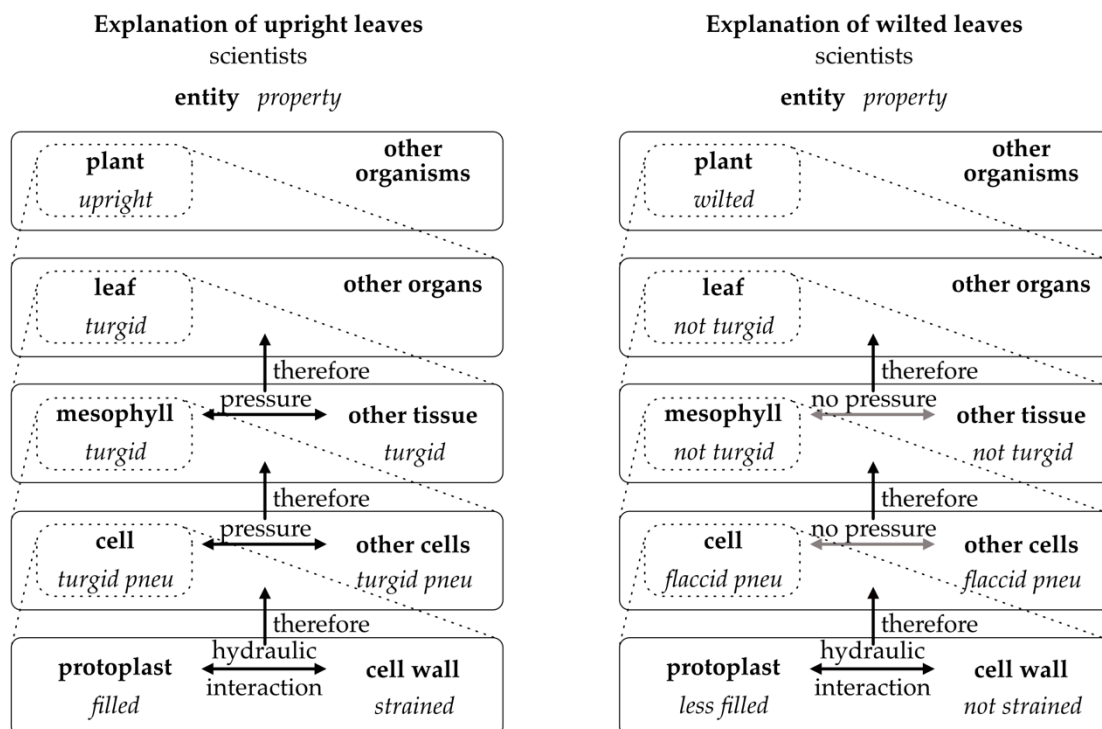


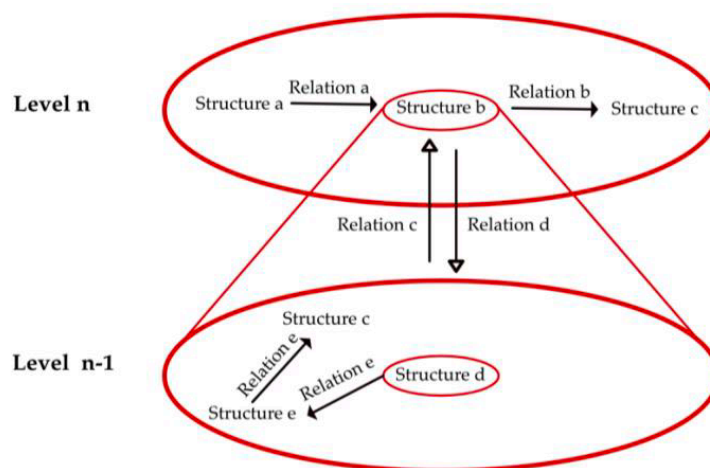
Figure 4: Mechanism across levels of organisation for upright leaves (left) and wilted leaves (right) as a Zoom Map.

### The Zoom Map

In biology, scientific explanations need to include all the relevant entities on several levels of organisation. This poses a challenge for students (Wilensky and Resnick 1999; Chi 2005). We developed the Zoom Map as a tool to guide learners to consider the entities at all levels of organisation that are required for their explanation, together with the interactions between and within the levels. The metaphor 'zooming' references the magnification and reduction of an image that can be done on digital devices. Zooming also refers to film-making, where wide shots change to close-ups and vice versa. In the Zoom Map, scaling is not continuous but is stepped over the levels of organisation. Similar to concept maps, horizontal relations are drawn within the levels.

Graphic organisers have proven to be effective in science education (Davidowitz and Rollnick 2001) for organising and structuring information, and for 'thinking about relationships between concepts' (Zollman 2015). These are the rules for drawing a Zoom Map:

1. The levels of organisation are displayed as elliptical or square planes.
2. Terms with the relevant entities are placed in the ellipse or square.
3. The process of zooming is depicted by truncated cone shapes. By zooming in on a structure on one level, one reaches a lower level. By zooming out, one reaches a higher level.
4. Arrows may connect the terms or the levels with linking words. When read together, the linking words and terms should make sense (Figure 5).



*Figure 5: Principle of the Zoom Map.*

In an effort to explain a phenomenon, learners should start at that very level. In the case of wilted and upright plants, the phenomenon is on the level of organism. The Zoom Map should therefore start at the level of organism. Similar to yo-yo learning (Knippels, Waarlo, and Boersma 2005), learners should move downwards. With the help of supporting material, they can explore each level and fill in the appropriate terms and relations on the Zoom Map. This process of construction stimulates learners to discuss and depict the various levels, entities and processes involved. Thus, moving across levels and reflecting on levels is inherent to the process of using a Zoom Map to explain a phenomenon.

## Research Questions

To help students formulate explanations that move across the levels of biological organisation, we examined the following:

1. Which levels did students include before and after a teaching session that utilised the Zoom Map?
2. How did students explain the phenomenon before and after a teaching experiment that utilised the Zoom Map?

## Design of the study

To answer Research Questions 1 and 2, we required a method that was open and flexible, and that allowed for intervention. Teaching experiments meet these requirements. We selected a physiological problem – the stability of leaves – as the biological phenomenon that needed to be explained on multiple levels. This phenomenon has been described and explained for teaching purposes by Wessel and Hammann (2012).

## Teaching experiments

Teaching experiments are a valuable tool for investigating the learning process (Komorek & Duit, 2007; Steffe & Thompson, 2000). The researcher is interviewer and teacher in equal parts. First, a phenomenon is explained by students. This allows the researcher to infer how much the students already know and understand and how they explain the phenomenon preinstructionally. As the intervention, participants are asked to interact with a prepared Zoom Map and information material and to explain the phenomenon again. The analyses of the learning process have implications for real lessons (Komorek and Duit 2007).

## Sample

Seven teaching experiments, which included qualitative interviews, were conducted with 13 students (eight female, five male). All the students attended a public high school (German Gymnasium) in Hanover, Germany. The average age of participants was 16.4 (Table 1). Each interview lasted about 35 to 70 minutes. The interviews were conducted at the school and documented with a video camera and an MP3 recorder.

Each participant and their parents signed a declaration of consent prior to the teaching interview. The study design and information policy has been approved by the local institutional review board.

Table 1: Participants

Teaching experiment	A	B	C	D	E	F	G						
Students	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
Age [years]	15	17	16	16	17	16	16	16	16	17	17	17	17

## Material and structure of the teaching experiment

Each teaching experiment was divided into two main segments: conducting an interview to infer the student's preconceptions of the phenomenon, followed by the teaching session with interventions (Figure 6).



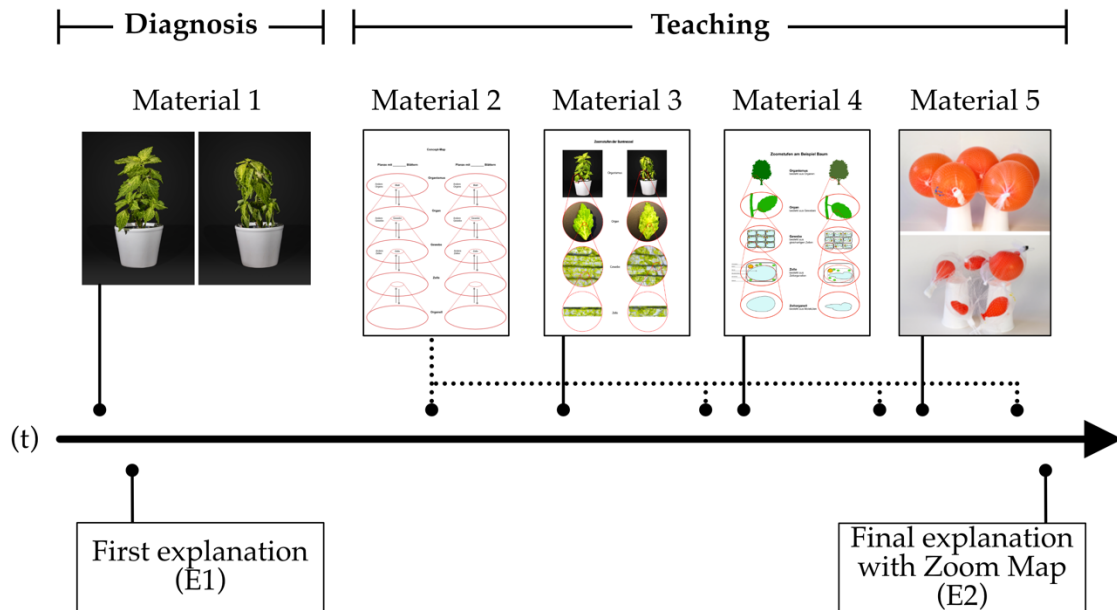


Figure 6: Timeline of the teaching experiments. The materials are documented in the appendix.

### Diagnosis

The interview participants were asked to describe the picture (M1, Figure 2) of a plant in erect and slightly wilted condition. The interviewer asked each student to describe the plants and explain the difference in appearance. This initial description and explanation is 'first explanation (E1)'.

### Teaching

The aim of the teaching session was to guide the participants in formulating an adequate explanation of the phenomenon. First, the participants were asked to explain the phenomenon using the Zoom Map (M2, Figure 7). The interviewer gave instructions on how to fill in the required terms and phrases and to connect them with labelled arrows.

Students then received Material 3 to 5 consecutively. Apart from the material, the teacher offered no further explanation of the phenomenon. The teacher simply instructed the students to interact with the material, giving prompts such as 'Please describe' or 'What do you see?'

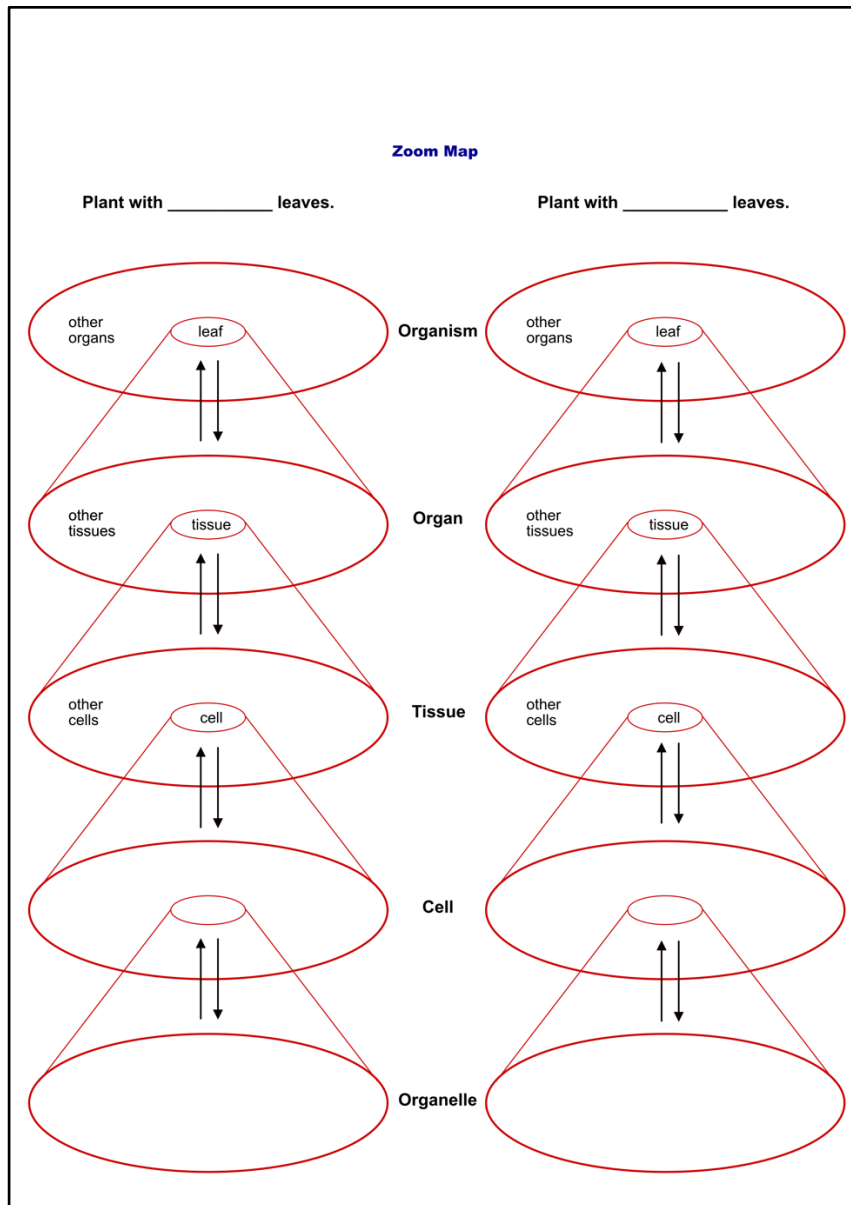


Figure 7: Material 2, the Zoom Map as used in the teaching experiment.

Material 3 (see appendix) presents (micro-)photographs of the phenomenon, offering the student a visual depiction of the level of organism, organ, tissue and cell. Students were asked to describe the material and, if necessary, to revise their Zoom Map. After the first revision, the students were given graphic representations of the phenomenon on the consecutive zoom levels (Material 4, see appendix). Students would describe Material 4 and revise their Zoom Map accordingly. The last intervention consisted of two models (Material 5, Figure 8), one with firm and one with limp balloons in connected nets, representing the cells at the level of tissue.

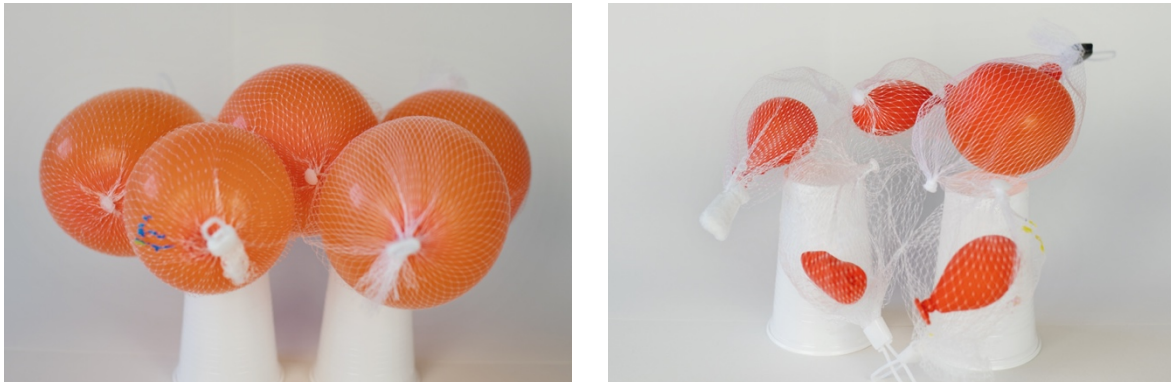


Figure 8: Material 5, connected nets filled with firm balloons (left) and limp balloons (right).

The students were asked to describe both models and to relate them to the phenomenon. Based on their work with Material 5, students were asked to revise their Zoom Map once more. At the end of the teaching experiment, students were asked to explain the phenomenon based on their Zoom Map (E2 - final explanation with Zoom Map).

### Analysis

The recorded interviews were transcribed and the Zoom Maps digitalised. We then identified the sections, relevant for our research questions. We named these sections the first explanation (E1) and final explanation with the Zoom Map (E2) (Figure 6). This was followed by a computer-supported qualitative analysis (Kuckartz 2010).

In the first step, interview segments were coded in MaxQDA<sup>®</sup> by the first author. Based on the students' explanations, we developed a code system by first identifying all relevant statements. We then compared and grouped statements to create categories, for example, 'high and low pressure' and 'contraction and expansion'. We noticed that students attributed the same properties to different entities on different levels. One example is 'high pressure of the cell' and 'high pressure of the tissue'. We therefore used subcategories that specified the levels (organism, organ, tissue, cell, organelle), for example, 'Category: High and low pressure'; 'Subcategory: organ, tissue, cell, organelle'.

For statements that could not be directly assigned to a level, we used each student's Zoom Map as a reference. If the statement was not related to a level on the Zoom Map, we categorised it as 'not defined'.

Four interviews (C, D, E and G) were double coded by the first and second author, based on the code system of the first author. The interrater correlation (Cohen's kappa) was  $\kappa = 0,86$ . According to Landis and Koch (1977), this score can be interpreted as almost perfect alignment. The high degree of rater agreement confirms the objectivity of the evaluation and interpretation.

## Results

The results described in the following section emerged from the analysis of the students' first explanations (E1) and final explanations (E2) (see Figure 6).

### 1) Which levels did students include in their explanations before and after the teaching session?

In the first explanation of the phenomenon (before the Zoom Map was introduced), students mostly explained on the level of organism (8) and organ (8). One student used the level of tissue (1) and another the level of cell (1). One student did not participate in the first explanation (Table 2).

*Table 2: Levels mentioned in the first explanation (E1), (\* = levels mentioned; n.e. = no explanation given).*

Level	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	Σ
Organism	•	•	•		•		•		•			•	•	8
Organ	•	•	•	•		•		•	•		•			8
Tissue											•			1
Cell								•						1
Organelle														0
Σ	2	2	2	1	1	1	1	2	2	n.e.	2	1	1	

When the Zoom Map was being used, the students considered deeper levels to explain the phenomenon. While presenting the levels of organisation needed to explain a phenomenon is one matter, generating the appropriate content knowledge is another. Material 3 and 4 offered experience-based knowledge of structures at the deeper levels. Material 5 modelled the mechanism that is central to the explanation of upright and wilted leaves, namely the pneu principle.

After instruction using Material 3, 4 and 5, followed by the further revision of their Zoom Maps, students were asked to give a final explanation of the phenomenon. Twelve students put forward explanations, while one did not explicitly explain the phenomenon. In the final explanation of the phenomenon, students mostly explained on the level of organ (11) and organelle (11). The level of tissue (10) was mentioned in ten explanations, the levels of organism (8) and organ (8) were each addressed in eight explanations (Table 3).

*Table 3: Levels mentioned in the final explanation with Zoom Map (E2), (\* = levels mentioned; n.e. = no explanation given).*

Level	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	Σ
Organism	•	•				•		•	•	•		•	•	8
Organ	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	11
Tissue	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•		10
Cell	•			•	•	•		•	•	•		•		8
Organelle	•	•		•	•	•		•	•	•	•	•	•	11
Σ	5	4	2	4	4	3	n.e.	5	5	5	3	5	3	

On average, the number of levels used in the explanations increased from an average of 1.5 in the first explanation (n = 12) to 3.9 in the final explanation with the Zoom Map (n = 12) (Table

2 and 3). Figure 9 depicts the increase in the number of levels that students used to explain the appearance of the leaves after teaching with the Zoom Map.

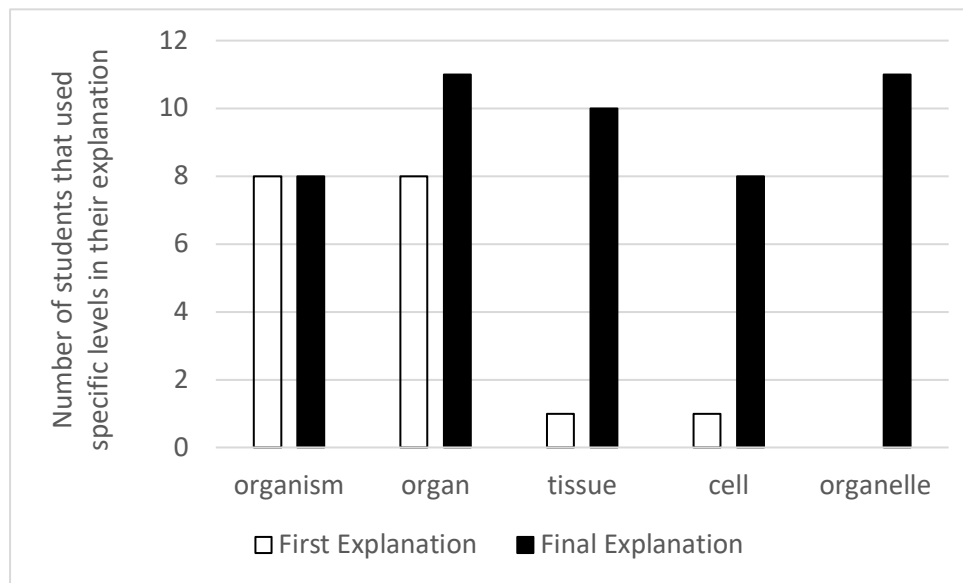


Figure 9: Number of students that used specific levels in their explanation initially and after teaching with the Zoom Map.

## 2) How did students explain before and after being taught with the Zoom Map?

### *First Explanation (E1)*

Initially, most of the students were able to relate the phenomenon to a lack of water. However, explaining the difference between the upright and the wilted leaves was a challenge (Table 2). The most prevalent category was 'missing or available water' in the cell or vacuole. Nine of the 13 students identified the lack of water as the cause of the leaves' flaccidity (see Table 2). Of these nine students, seven described the lack of water at the level of the organism: 'It [the flabby leaves] is because it [the plant] hasn't been watered enough' (G, S12, l. 13, translated). Three students attributed the lack of water to the leaf: 'There is not enough water to wet the leaves' (D, S6, l. 11). One student (A, S1, l. 7-11) described the lack of water on both the level of organism and the level of organ.

Two students referred to low pressure in the cell (S8) and the leaf (S9).

Student S11 explained that the firmness of the leaves was due to the support of leaf veins (G, S11, l. 22). Student S2 did not relate the phenomenon to water but to disease. Student S4 stated that the leaves were flaccid because 'they don't have enough energy to be erect' (C, S4, l. 21, translated).

### *Second Explanation with Zoom Map (E2)*

While the students' first explanations were incomplete, their final explanations were closer to the reference explanation. As indicated in the next section, students were able to include additional aspects in their explanations (Table 4). We will first describe the individual aspects and then a prototypical mechanism of the teaching experiments.

#### Missing or available water

The initial explanations focused mostly on missing water, either on the level of organism or organ. The final explanations mentioned the lack of water as well, but assigned 'missing or



available water' to the level of the organelles (S1, S2, S4, S8, S9, S11, S12, S13): 'In the healthy plant, there is more liquid in the vacuole' (A, S1, l. 167, translated.)

#### Low filling or high filling

As a result of available water, students (S5, S8, S9, S13) describe the vacuole as 'filled'. Student S5 further described the cell as 'filled by the cell membrane' (C, S5, l. 317).

#### Contraction or expansion

Most of the students' explanations (S1, S2, S4, S5, S7, S9, S11, S12) can be categorised as 'contraction or expansion of an entity as a result of the present or missing water': '[...] and if there is too little water, they [the cells] contract [...]' (F, S11, l. 33, translated). The entity that contracts or expands is mainly the cell. The vacuole and the cell membrane were also described as contracted or expanded.

#### Low pressure or high pressure

Only the final explanations of students S8 and S9 (both teaching experiment E) mentioned pressure.

#### Missing contact or contact

Students described several entities that need to be in contact with each other for the leaf to be upright, namely the vacuole with the cell membrane (S5), the cell membrane with the cell wall (S1, S4, S5, S9), cells with other cells (S10, S12) and tissue in contact with other tissue (S5).

#### Stability or instability

Stability is described as a result of high pressure and contact of the entities. 'If the internal cell pressure is high, then the pressure of the tissue is also high and stability is also high, which leads to the taut leaves [...]' (E, S8, l. 157, translated)

Students S4 and S10 assigned stability or instability to the cell. Tissue (S2, S3, S4, S9, S11) and organ (S10) were described as stable or unstable as well.

#### Metabolism

According to the students of teaching experiment E, water is a vital factor in metabolic processes. Without water, these processes 'are limited or can no longer take place at all' (E, S9, l. 226, translated).

Table 4: How students explained the phenomenon before (E1, ○) and after instruction (E2, ●).

Category	Subcategory	A		B			C		D		E		G		G	
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13		
missing or available water	organism	○	○			○		○			○			○	○	
	organ	○			○		○									
	tissue															
	cell organelle	●	●		●				●	●		●	●	●	●	
low filling or	cell organelle					●				●	●				●	



high filling														
contraction or expansion	cell vacuole	•	•		•	•	•	•					•	
	cell-membrane	•	•		•					•		•	•	
low pressure or high pressure	organ tissue								•	•				
	cell								o/•	•				
missing contact or contact	tissue-tissue					•								
	cell membrane – cell wall	•			•	•				•				
stability or instability	cell-cell										•		•	
	vacuole – cell membrane					•								
others	organ tissue		•	•	•					•	•		•	
	cell					•					•			
missing energy	disease					o								
	leaf veins			o									o	
metabolism														
									•	•				

*Mechanisms*

In Table 2, we present the explanatory aspects unconnected. To illuminate, how the students related these aspects in their explanations, we chose two explanations that differed most in quality. Student S9 was very engaged in the teaching experiment and worked together with student S8 to produce an explanation of the phenomenon. Student S6 was less engaged and had a partner (S7) who seldom participated in the discussion and problem-solving process.

***Good explanation given by Student S9***

When asked to explain the phenomenon based on the teaching with the Zoom Map, the student started the explanation at the level of the organ, by describing the leaves as ‘flabby’ (1). He ascribed this to the missing contact between cell membrane and cell wall at the level of the cell (2). Additionally, he used the level of the organelle and added that the vacuole is no longer bulging (3) and is therefore smaller (4). With the vacuole no longer bulging, cells may die (5). He did not explain at this point why the cells die. Later he will make the link between the lack of water (7) and its impact on metabolic processes (8). As a result of the vacuole no longer bulging, the pressure in the cell is lower (6). This has an impact on the tissue, which has a lower pressure when the cellular pressure is lower (9). The tissue is therefore unstable (10), which means the leaves (11) and the plant (12) are limp.

The student described and explained the phenomenon on multiple levels. In his explanation, the student moved from the level of the organ down to the level of the organelle and up again to the level of the organ and organism (Figure 10).

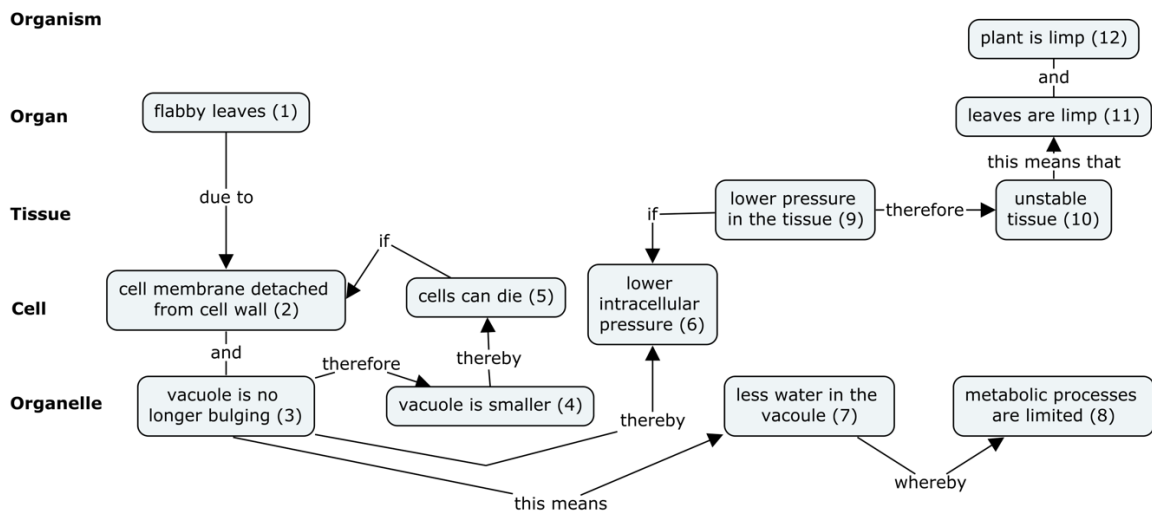


Figure 10: Final explanation of student S9 transformed into a concept map (E, S9, l. 226).

### Poor explanation given by Student S6

The student started his explanation at the level of the cell and described the reduced volume of the cell (1). He then stated that because of the reduction in cell volume, the plant is withered and tries to maintain the concentration (2). In the withered plant, the vacuole is present, but the concentration is lower (3) (Figure 11).

For the upright plant, the student started at the level of the organelle: 'The vacuole is bigger (1) and therefore, the volume [of the cell] is bigger (5) and therefore the plant can remain upright (6)' (D, S7, l. 159, translated).

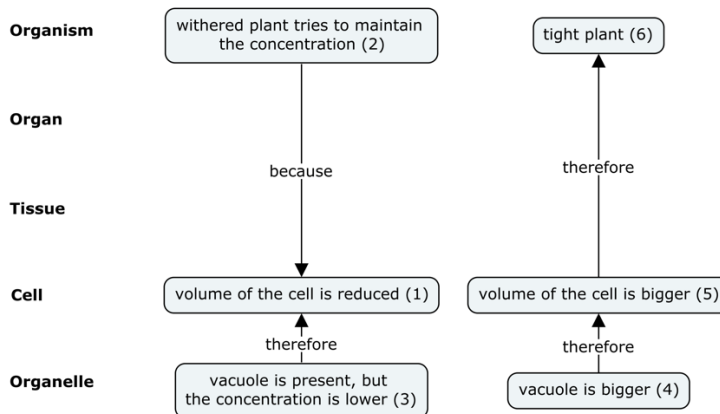


Figure 11: Final explanation of student S6 transformed into a concept map (D, S6, l. 154 & 159).

## Discussion

In an everyday situation, referring to enough or too little water would be sufficient to explain why a plant has upright or wilted leaves. Most of the students in our teaching experiments initially put forward such an explanation, not going beyond entities that can be seen with the



naked eye. In contrast, a biological explanation is more challenging, because the phenomenon relates to entities at deeper levels of organisation. In addition, it is necessary to have content knowledge of the entities and properties and the relationships between them.

We found that after teaching and working with the Zoom Map, the levels of organisation referred to by students increased significantly. When comparing the initial level of explanation to the final explanation, we can point out two aspects: In the initial explanation, students mostly explained on the level of organism and organ. In the final explanation, students used more of the relevant deeper levels (Figure 9).

A plant and a leaf can be seen by the naked eye, making them suitable entities for a teaching interaction. Cells and molecules are not as readily perceived and interacted with. Entities like a plant and a leaf belong to that part of reality that we are able to interact with by perceiving and acting, known as the 'mesocosm' (Vollmer 1984). Entities that are smaller than the width of a hair belong to the microcosm. This part of reality is accessible through science-based technology such as microscopes. Predictably, however, entities, properties and relationships in the microcosm are difficult to understand (Niebert and Gropengiesser 2015). This is the reason that the students (with a few remarkable exceptions) at first provided explanations that dealt only with entities in the mesocosm. When led by the Zoom Map, and after the second-hand experience provided, for example, by microphotographs of tissues and cells, students were eventually able to provide a more in-depth explanation of the phenomenon.

For most of these students, the lack of water was a satisfactory explanation at first. Again, this explanation relates to the mesocosm. Watering plants is something the students have experienced and their initial explanation is adequate in everyday life. We viewed this as a learning opportunity. The fact that the students already considered water may have helped them to construct an adequate explanation – albeit on another level of organisation (Figure 4). The mechanism that explains the phenomenon (Figure 4) incorporates pressure and hydraulic interaction between the vacuole or the protoplast and the cell wall. Although most of the explanations were still incomplete after instruction, students referred to more relevant aspects of this mechanism, like contraction and expansion, or missing contact and contact (Table 2). Only the students of teaching experiment E (S8 and S9) mentioned pressure in their final explanation. The idea can be attributed to S9, whose first explanation included pressure. Other students did not incorporate pressure into their explanations. This might be because material M3-5 did not offer an opportunity to perceive and discuss pressure. Although the students adequately described the model M5 and related it to the phenomenon, they did not mention pressure. Consequently, an additional or adapted model could be introduced if students do not consider pressure when describing the tissue model. We suggest inflating a balloon using a hand pump with an integrated barometer. This would allow students to perceive that the pressure of the filled balloon is higher.

## Conclusion

In our experiments, teaching materials were provided. However, no form of assistance was offered in identifying the mechanism that explained the phenomenon of upright and wilted leaves. Students were confronted with a new setting, limited material and a teacher who was not supportive. Taking these factors into account, the learning results were satisfying.

In a real classroom setting, the teacher would interact with the students, making suggestions and answering questions. The Zoom Map can support the teacher by making missing interrelations visible. This would make it easier to identify what the students know and to diagnose where they need support. When using the Zoom Map in class, we suggest starting with basic concept map training before introducing the levels of organisation and the Zoom Map.



It is important to note that students primarily learn to explain the phenomenon guided by the Zoom Map. The Zoom Map's inherent structure can motivate students to think across levels, yet the actual experience and understanding of the phenomenon arises out of observations, additional material, models or experiments. The Zoom Map is a mode to structure the new information and relate it to levels. It can be a valuable tool to support yo-yo learning (Knippels, Waarlo, and Boersma 2005) as it guides the learners through the levels of organisation and encourages vertical and horizontal interrelation.



## Disclosure statement

No potential competing interest was reported by the authors.

## Bibliographical Note

**Niklas Schneeweiß** completed his Master of Education at Leibniz Universität Hannover. There he worked at the Institute for Science Education as a research assistant. He currently teaches biology and chemistry at a high school.

In his research, he focuses on digital media, students' conceptions and systems thinking. The development of the zoom map is part of his PhD project.

**Leona Mölgen** is currently completing her Master of Education with the subjects Biology and German. She is a research assistant at the Institute for Science Education in Hannover.

**Harald Gropengießer** is a Professor Emeritus for Biology Education at Leibniz Universität Hannover, Germany. After teaching biology and chemistry for ten years at a high school (Gymnasium), he worked as a research associate at the department for biology education at the University of Oldenburg. He was awarded a Dr. rer. nat. for his dissertation that unfolds the Model of Educational Reconstruction and exemplifies its research design. He habilitated in the field of biology education with a study on the theory of experience-based understanding, that utilizes embodied cognition together with conceptual metaphor theory for the interpretation of learners' statements and the design of learning opportunities. Furthermore, his interests focus on students' conceptions and teacher education.

## References

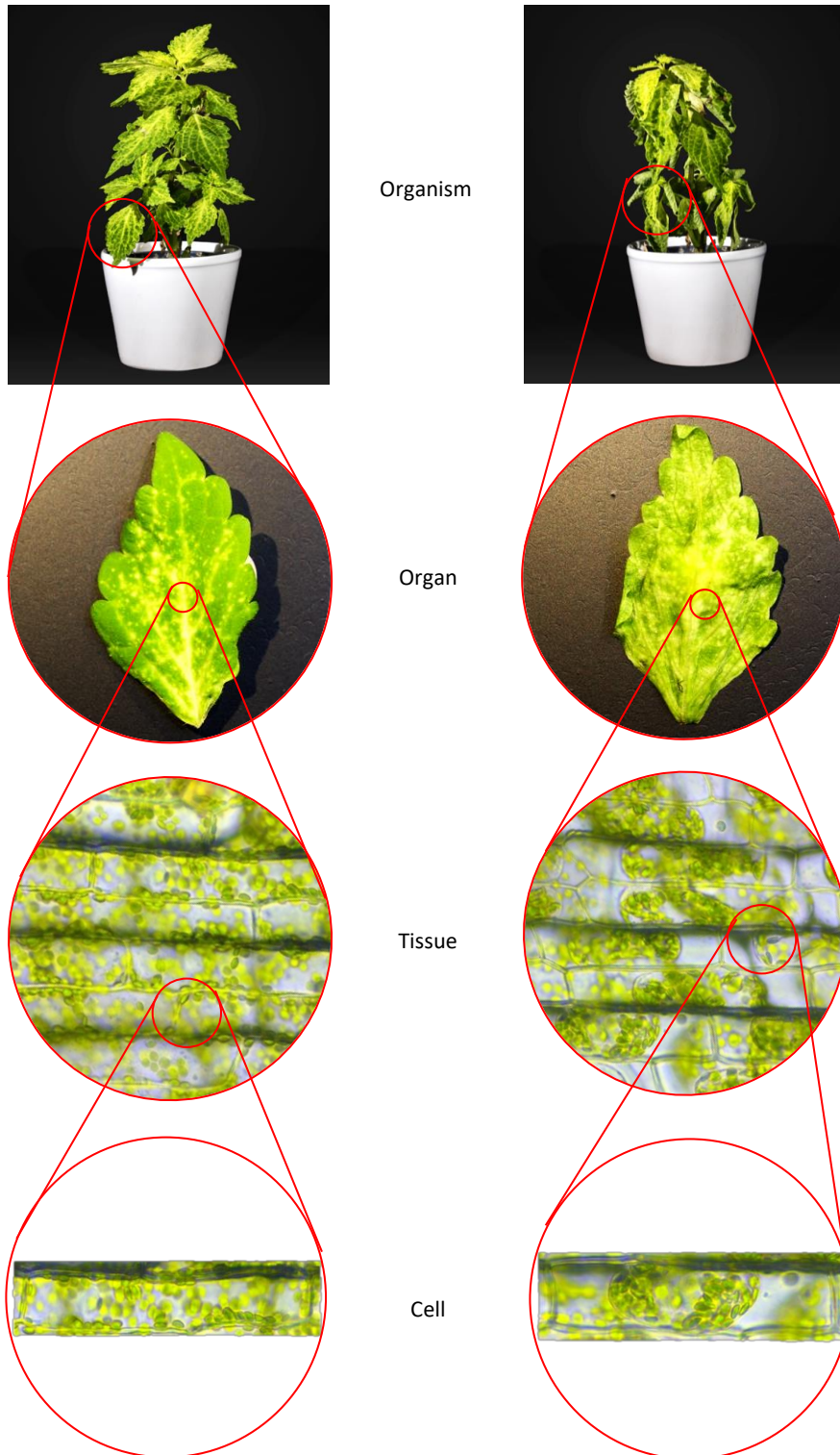
- Bechtel, W., and A. Abrahamsen. 2005. "Explanation: a mechanist alternative." *Stud Hist Philos Biol Biomed Sci* 36 (2):421-41. doi: 10.1016/j.shpsc.2005.03.010.
- Boersma, K. T., and C. Geraedts. 2009. The interpretation of students' lamarckian explanations. Paper presented at the Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB).
- Brown, M. H., and R. S. Schwartz. 2009. "Connecting Photosynthesis and Cellular Respiration: Preservice Teachers' Conceptions." *Journal of Research in Science Teaching* 46 (7):791-812. doi: 10.1002/tea.20287.
- Campbell, Neil A., Jane B. Reece, Lisa A. Urry, Michael Cain, Steven Wasserman, Peter V. Minorsky, and Robert Jackson. 2008. "Biology." In. San Francisco, Boston, New York: Pearson
- Chi, M. T. H. 2005. "Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust." *Journal of the Learning Sciences* 14 (2):161-99. doi: DOI 10.1207/s15327809jls1402\_1.
- Dauer, J. T., J. L. Momsen, E. B. Speth, S. C. Makohon-Moore, and T. M. Long. 2013. "Analyzing change in students' gene-to-evolution models in college-level introductory biology." *Journal of Research in Science Teaching* 50 (6):639-59. doi: 10.1002/tea.21094.
- Davidowitz, B., and M. Rollnick. 2001. "Effectiveness of Flow Diagrams as a Strategy for Learning in Laboratories." *Aust. J. Ed. Chem.* 57:18-24.
- diSessa, A. A. 1988. "Knowledge in Pieces." In *The Jean Piaget symposium series. Constructivism in the computer age*, edited by G. Forman and P.B. Pufall, 49-70. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Düsing, K., R. Asshoff, and M. Hammann. 2018. "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):110-25. doi: 10.1080/00219266.2018.1447002.
- Eylon, Bat-Sheva, and M. C. Linn. 1988. "Learning and Instruction: An Examination of Four Research Perspectives in Science Education." *Review of Educational Research* 58 (3):251-301.
- Hammann, M. 2019. "Organisationsebenen biologischer Systeme unterscheiden und vernetzen: Empirische Befunde und Empfehlungen für die Praxis." In *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis*, edited by J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann and J. Zabel, 1-19. Berlin: Springer Spektrum.
- . 2020. "Wissensstrukturansätze in der Schülervorstellungsforschung." In *Biologiedidaktische Vorstellungsforschung: Zukunftsweisende Praxis*, edited by B. Reinisch, K. Helbig and D. Krüger, 43-54. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Haskel-Ittah, Michal, Ravit Golan Duncan, Lucia Vázquez-Ben, and Anat Yarden. 2019. "Reasoning about genetic mechanisms: Affordances and constraints for learning." *Journal of Research in Science Teaching*. doi: 10.1002/tea.21595.
- Hawk, P. P. 1986. "Using Graphic Organizers to Increase Achievement in Middle School Life Science." *Science Education* 70 (1):81-7.
- Heinze-Fry, J. A., and J. D. Novak. 1990. "Concept mapping brings long-term movement toward meaningful learning." *Science Education* 74 (4):461-72.
- Jördens, Janina, Roman Asshoff, Harald Kullmann, and Marcus Hammann. 2016. "Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution." *International Journal of Science Education* 38 (6):960-92. doi: 10.1080/09500693.2016.1174790.
- Knippels, M. C. P. J. 2002. *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education - The yoyo teaching and learning strategy*. Vol. 43, *Biologie Proefschriften*. Utrecht: CD-β Press.
- Knippels, M. C. P. J., A. J. Waarlo, and K. T. Boersma. 2005. "Design criteria for learning and teaching genetics." *Journal of Biological Education* 39 (3):108-12. doi: Doi 10.1080/00219266.2005.9655976.
- Komorek, Michael, and Reinders Duit. 2007. "The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear



- systems." *International Journal of Science Education* 26 (5):619-33. doi: 10.1080/09500690310001614717.
- Kuckartz, Udo. 2010. *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*. Vol. 3. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Landis, J. R., and G. G. Koch. 1977. "The measurement of observer agreement for categorical data." *Biometrics* 33 (1):159-74. doi: 10.2307/2529310.
- Linn, M. C., and L. Muilenburg. 1996. "Creating Lifelong Science Learners: What Models Form a Firm Foundation?" *Educational Researcher* 25 (5):18-24.
- Machamer, Peter, Lindley Darden, and Carl F. Craver. 2000. "Thinking about Mechanisms." *Philosophy of Science* 67 (1):1-25.
- Niebert, Kai, and Harald Gropengießer. 2015. "Understanding Starts in the Mesocosm: Conceptual metaphor as a framework for external representations in science teaching." *International Journal of Science Education* 37 (5-6):903-33. doi: 10.1080/09500693.2015.1025310.
- Novak, J. D., and D. B. Gowin. 1984. *Learning how to learn*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Novikoff, A. B. 1945. "The Concept of Integrative Levels and Biology." *Science* 101 (2618):209-15. doi: 10.1126/science.101.2618.209.
- Reinagel, A., and E. Bray Speth. 2016. "Beyond the Central Dogma: Model-Based Learning of How Genes Determine Phenotypes." *CBE Life Sci Educ* 15 (1):ar4. doi: 10.1187/cbe.15-04-0105.
- Schneeweiß, Niklas, and Harald Gropengießer. 2019. "Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature." *Education Sciences* 9 (3). doi: 10.3390/educsci9030207.
- Schwarz, B., A-N. Perret-Clermont, A. Trognon, and P. Marro. 2008. "Emergent learning in successive activities - Learning in interaction in a laboratory context." *Pragmatics & Cognition* 16 (1):57-87. doi: 10.1075/p&c.16.1.05sch.
- Thoday, D. 1918. "On Turgescence and the Absorption of Water by the Cells of Plants." *The New Phytologist* 17 (5/6):108-13.
- Unger, Barnd. 2017. *Biologie verstehen: wie Lerner mikrobiell induzierte Phänomene erklären: eine theoriegeleitete Entwicklung von Lernangeboten im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion*. Berlin: Logos Verlag.
- Verhoeff, R. P. 2003. *Towards systems thinking in cell biology education*. Utrecht: CD-β Press.
- Wessel, Lena, and M. Hammann. 2012. "Warum Welken Pflanzen - Hamann, Wessel.pdf." *Unterricht Biologie* 35 (380):16-20.
- Wilensky, Uri, and Mitchel Resnick. 1999. "Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World." *Journal of Science Education and Technology* 8 (1):3-19. doi: 10.1023/a:1009421303064.
- Wimsatt, William C. 2006. "Reductionism and its heuristics: Making methodological reductionism honest." *Synthese* 151 (3):445-75. doi: 10.1007/s11229-006-9017-0.
- Zollman, Alan. 2015. "Students Use Graphic Organizers to Improve Mathematical Problem-Solving Communications." *Middle School Journal* 41 (2):4-12. doi: 10.1080/00940771.2009.11461707.

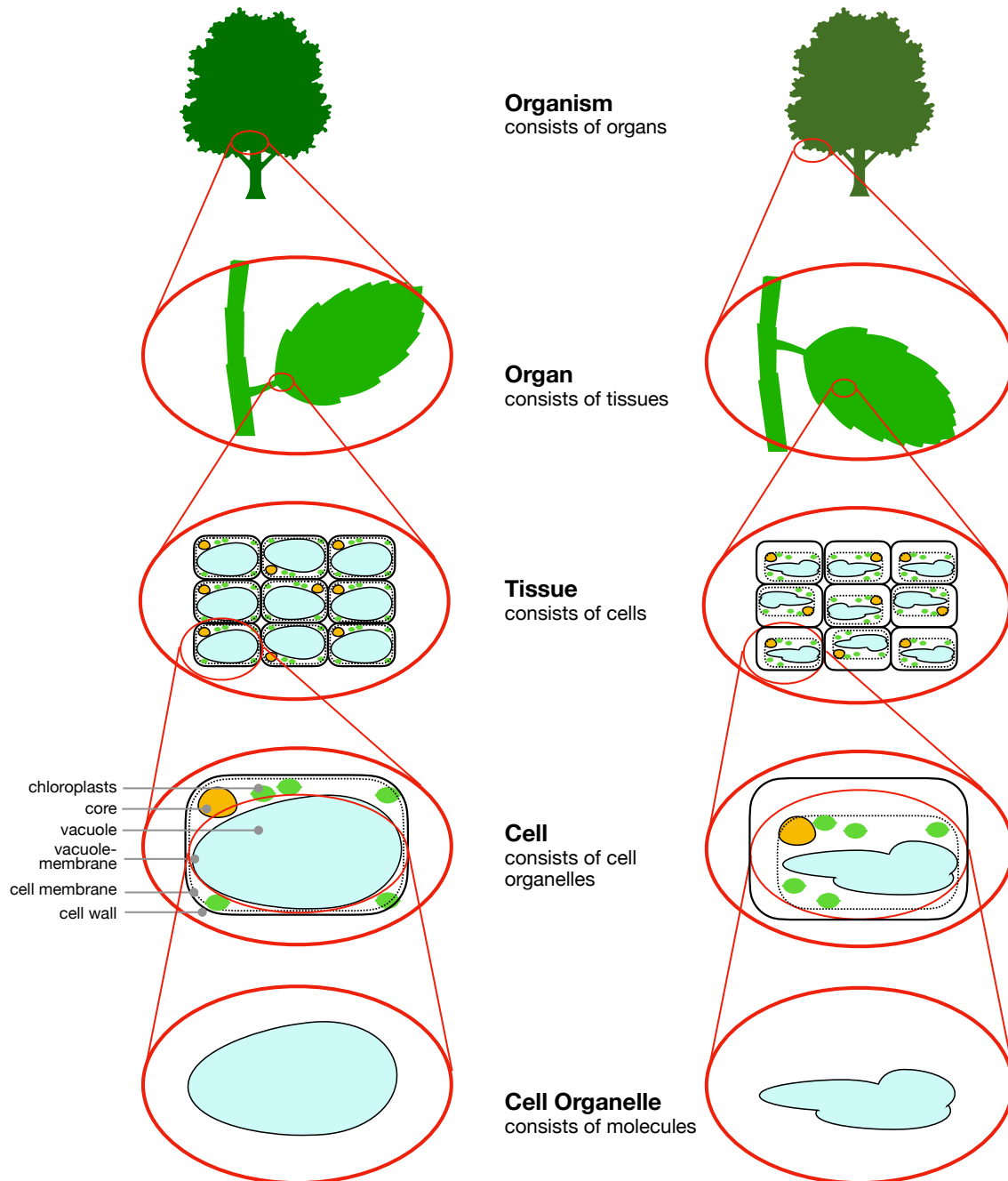
## Appendix

### Zoom levels of a plant



**Material 3:** Photographic representation of the plants' levels of organisation. For teaching purposes, we called the levels of organisation zoom levels.

## Zoom levels



**Material 4:** Graphic representation of the plants' levels of organisation. For teaching purposes, we called the levels of organisation zoom levels

## 10.5 PUBLIKATION 5: Die Zoom Map und Komplexität

### Angaben zur Publikation

#### Box 10: Literaturangaben von Publikation 5 – Komplexität



Schneeweiß, N. & Gropengießer, H.



The Zoom-Map: Explaining Complex Biological Phenomena by Drawing Connections between and in Levels of Organization (Eingeladenes Buchkapitel)



Fostering Understanding of Complex Systems in Biology Education. Assaraf, O. B. Z., Knippels, M. C. (Hrsg.). Cham: Springer Verlag.



Eingereicht im Oktober 2020, angenommen im Dezember 2021, publiziert im Juni 2022



Team- und HerausgeberInnen Review

DOI

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-98144-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98144-0_7)

### Darstellung der Eigenleistung

Die Zoom Map wurde von mir entwickelt und mit Prof. Harald Gropengießer weiterentwickelt. Die Vermittlungsversuche wurden von mir geplant, durchgeführt und ausgewertet. Prof. Harald Gropengießer stand beratend zur Seite und trug zur Überarbeitung des Manuskripts bei.

### Hinweise zum Urheberrecht

Abgedruckt wird das noch nicht begutachtete Manuskript (Author's Original Manuscript) des folgenden Artikels:

Schneeweiß, N. & Gropengießer, H., The Zoom Map: Explaining Complex Biological Phenomena by Drawing Connections Between and in Levels of Organization, edited by Assaraf, O. B. Z. & Knippels, M. C, 2022, Springer, reproduced with permission of Springer, Cham.

Die publizierte Fassung kann über den folgenden Link abgerufen werden:

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-98144-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98144-0_7)

### Copyright Information

This is a preprint (Author's Original Manuscript) of the following chapter:

Schneeweiß, N. & Gropengießer, H., The Zoom Map: Explaining Complex Biological Phenomena by Drawing Connections Between and in Levels of Organization, edited by Assaraf, O. B. Z. & Knippels, M. C, 2022, Springer, reproduced with permission of Springer, Cham.

The final authenticated version is available online

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-98144-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98144-0_7)



*Abdruck der Publikation (Author's Original Manuscript)*

## **The zoom-map—Explaining complex biological phenomena by drawing connections between and in levels of organization**

Niklas Schneeweiß & Harald Gropengießer

### **Explaining complex biological phenomena**

Biologists, chemists, physicists, and other science experts originally performed research to construct the explanations of scientific phenomena of the world around us. As science educators, we investigate how learners—including children, students, adults, and even teachers—understand a phenomenon preinstructionally, and how they can construct a scientifically correct explanation. While the orientation onto the world around us is called first-order perspective, science educators' orientation onto ideas, thoughts, learning, and understanding is called second-order perspective (Marton, 1981). Science educators have developed learning and teaching strategies such as the yoyo learning and teaching strategy (Knippels, 2002; Knippels et al., 2005) and tools that foster understanding, such as the concept map (Novak, 1990). We propose the zoom map as a useful tool to reflect on levels of organization in order to explain complex biological phenomena.

Most sciences started with observing and describing phenomena. A currently more advanced science like biology develops the art of explanation and prediction. An explanation needs an explanandum, that is, something to be explained, and an explanans, by which it is explained. The explanans consists of antecedents, namely initial or boundary conditions that, together with general laws or regularities, result in causal explanations (Hempel & Oppenheim, 1948). Explanations in biology fall into two forms of explanantia: proximate causes (namely, physiological mechanisms) and ultimate causes—namely, evolutionary mechanisms that explain the existence of a specific trait through variation in a population and non-random survival in a given environment. The explanandum in biology is, in most cases, a phenomenon that has no straightforward explanation, unlike the movement of a billiard ball. In biology, the explanans may be structured as a causal chain, but more often, it is like a net or even a felt, and, as if that were not enough, runs over several levels of organization.

Today it is commonly accepted that “complexity is endemic in biology” (Mitchell, 2012, p. xiii) because the latter “is constituted by [...] multilevel [...] systems”. We assume complexity when we observe a phenomenon that emerges from entities with specific properties that interact. A system can be described as complex (Dauer & Dauer, 2016; Eilam, 2012; Mitchell, 2012) if it:

- is open
- is structured into multiple levels of organization
- has many entities
- presents interaction of entities within and across levels of organization
- is influenced by the entities' behavior and
- has emergent properties.

### **A plethora of biological levels**

Arguably, the multiple levels of organization significantly contribute to the complexity of biology. To complicate matters, albeit the omnipresent usage of the term *levels of organization* in biology and biology education, the term is not as clear as its prevalence might suggest. Even fundamental questions such as, “Which are the levels of organization” are not yet definitely answered (Eronen & Brooks, 2018; Schneeweiß & Gropengießer, 2019). As a first step towards a new consensus on levels, we conducted a literature review on the levels of organization in

the fields of biology and biology education to shed light on the diversity of levels. The review (Schneeweiß & Gropengießer, 2019) revealed twenty different levels of organization and some more synonyms (Figure 1).

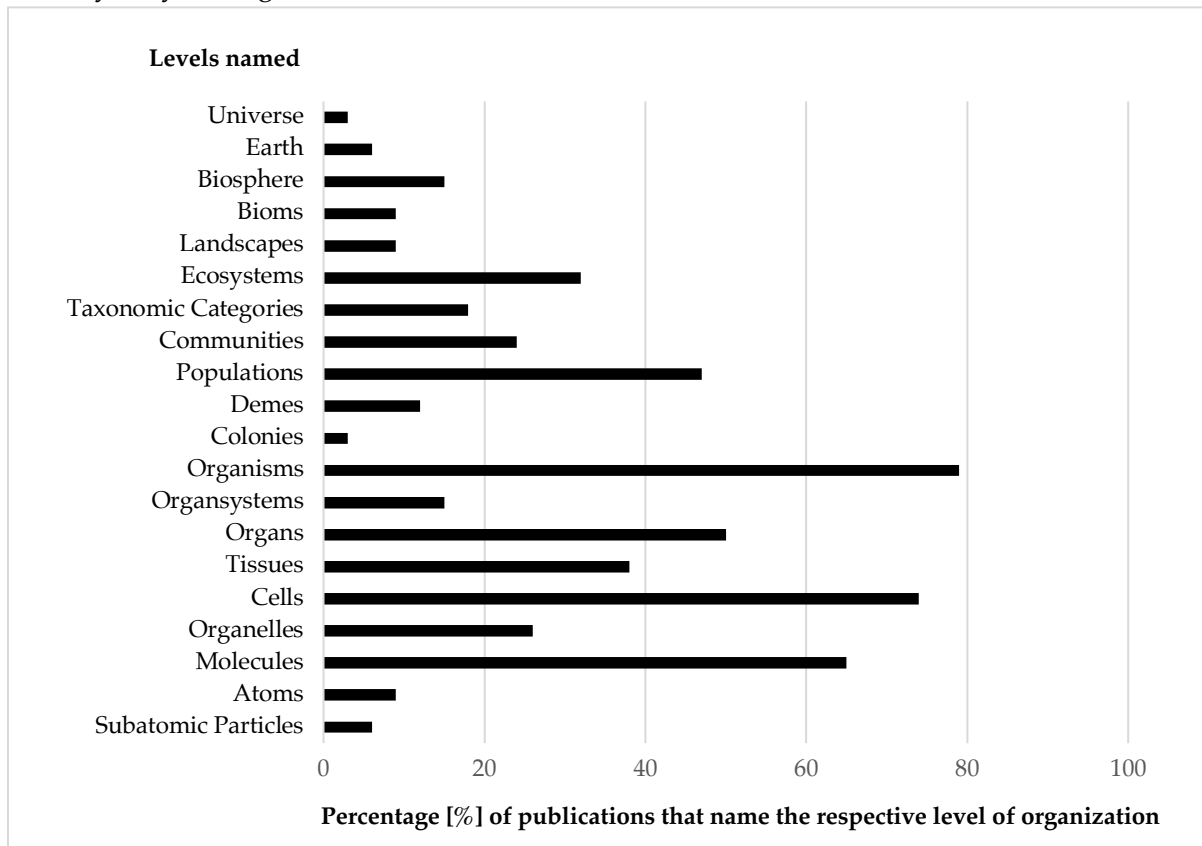


Figure 12: Coding results for individual levels of organization explicitly named in biology and biology education journal articles (N = 36). The percentage refers to the number of papers that name the respective level at least once in relation to the total number of papers.

### Organizing the levels of biological organization

The review further revealed that levels of organization can be formed, ordered, and related through different relationships—mainly, coevolutionary, matter-energy, and physiological relationships that can be ordered in a system of levels (MacMahon et al., 1978; Schneeweiß & Gropengießer, 2019; Figure 13).

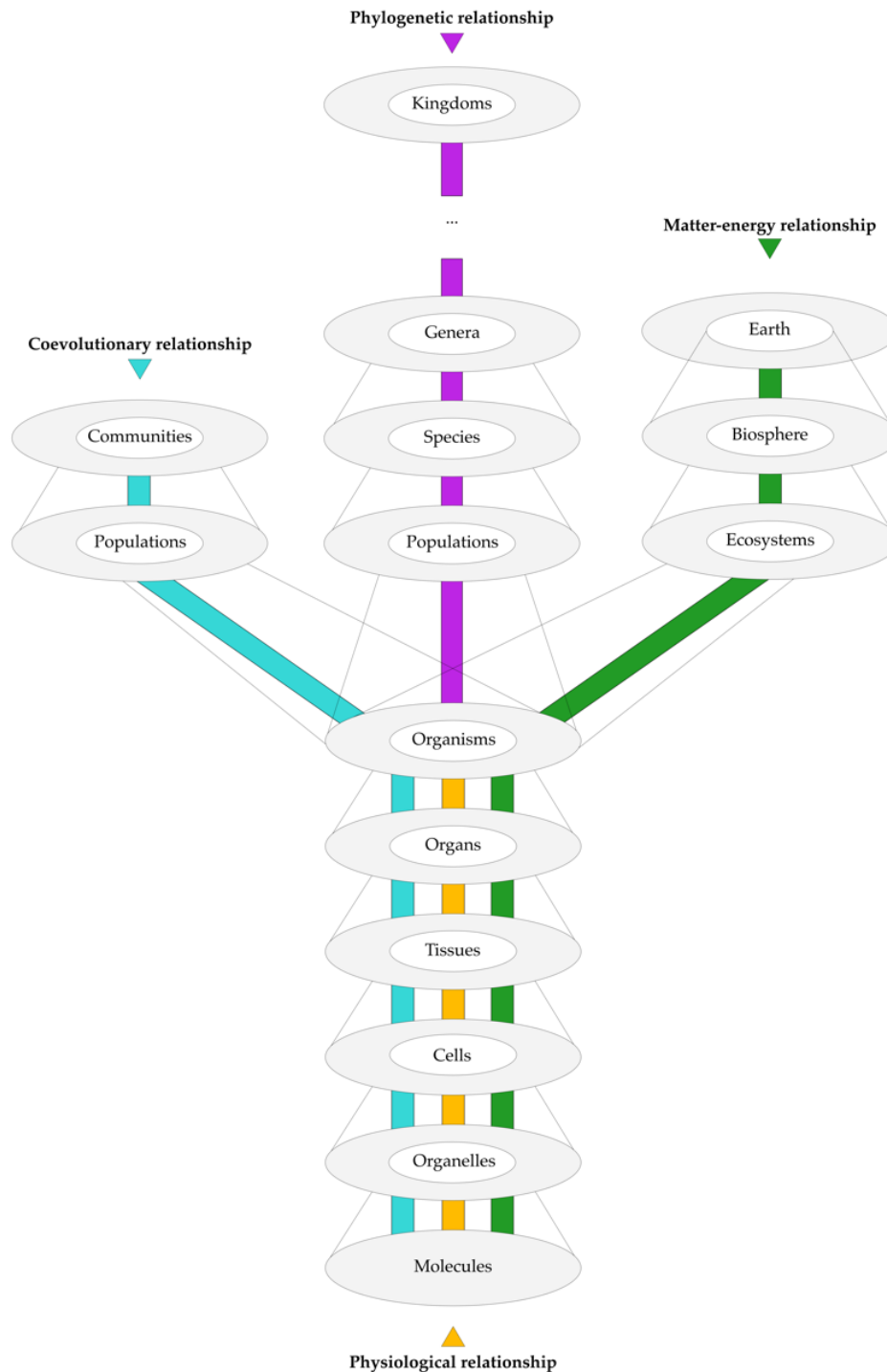


Figure 13: A system of levels of organization for biology education. The system makes the relationships between the levels explicit and incorporates the idea of zooming (Schneeweiß & Gropengießer, 2019, p. 14)

### Comparing the levels of scientific disciplines

A look at disciplines such as physics and chemistry suggests that things seem to be less complex, at least regarding levels. Physicists use a scale of powers of 10 to place their objects of study. Philosophers with an evolutionary epistemological point of view hold that our cognitive system is adapted to a world of medium dimensions—a world that we can perceive and interact with. Vollmer (1984) calls this section of the real world the mesocosm. Things that

are smaller as the breadth of a hair or larger than the distance to the horizon are hard to understand, as they belong to the microcosm or macrocosm, respectively (Niebert & Gropengiesser, 2015). Chemists use the three levels of microscopic particle, nanoparticle, and substance (submacro, macro, and an extra symbolic level; Johnstone, 1991). Even if we consider the recent discussion about a nanolevel in chemistry, there is no comparison with the multitude of levels in biology (Figure 3). This complexity by levels in biology is challenging, especially for students, as we will elaborate in the next section.

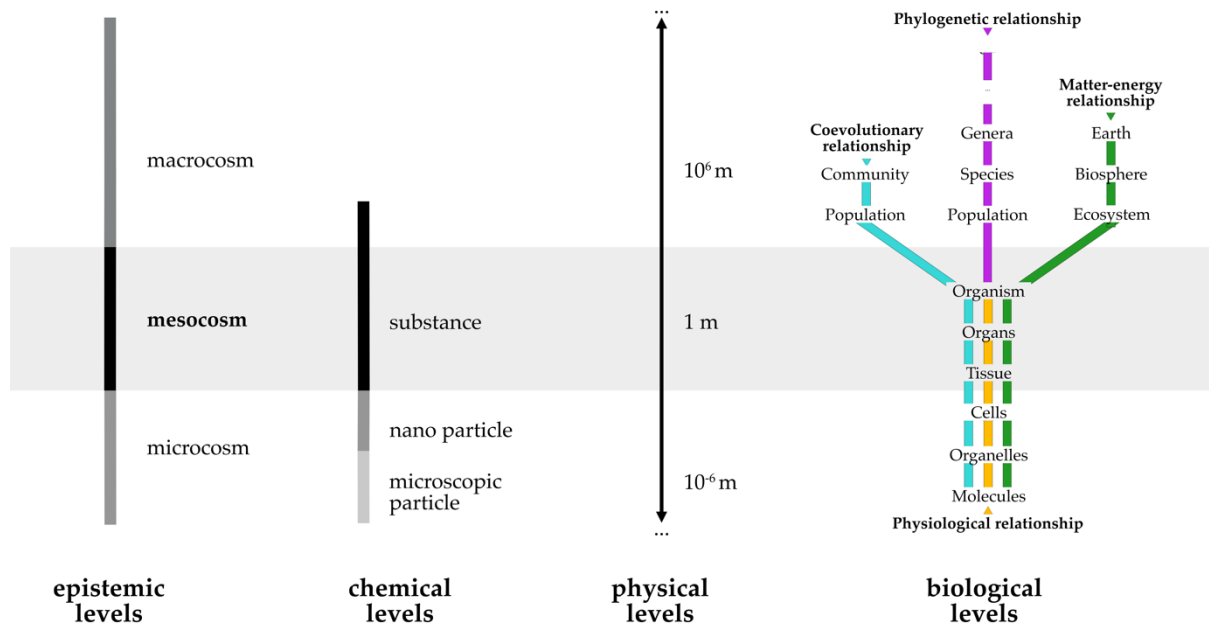


Figure 14: Comparison of organizational levels of different scientific disciplines.

## Students' learning difficulties in explaining biological phenomena

Scientific reasoning is a day-to-day task for experts, but students have various difficulties explaining biological phenomena. A significant obstacle seems to be minding the levels of biological organization (Hammann, 2019). Research on many different biological topics, such as cell biology, genetics, or physiology, revealed learning difficulties related to levels of organization (Hammann, 2020; Schneeweiß & Gropengießer, 2019).

Typical difficulties are the confusion of levels (Wilensky & Resnick, 1999), explaining only on one level (Jördens et al., 2016), or failing to interrelate levels (Brown & Schwartz, 2009). For example, in ecology, some students can describe the processes of photosynthesis and respiration at the molecular level yet fail to interrelate the two processes at the level of the ecosystem (Brown & Schwartz, 2009). In this example, the individual elements of knowledge are not connected. This may be termed as *fragmented knowledge*. Learners may combine their fragmented knowledge differently, depending on the phenomenon, thus resulting in different explanations. (Clark, 2006; DiSessa et al., 2004; Izsak, 2005; Wagner, 2006). Learners often do not succeed in finding adequate causal explanations across the levels of organization. Therefore, interventions that foster the integration of knowledge are needed.

## Guiding the process of explaining with the zoom map

Explanations are generated ad hoc. Students thereby interact (i) with the phenomenon, (ii) with incitations from peers, teachers, or texts, and (iii) with their own available cognitive resources, namely their conceptions, knowledge, and ideas. This “emergent construction in interaction” (Boersma & Geraedts, 2009; Schwarz et al., 2008) may lead to different explanations for similar phenomena. Guidance will help to activate and integrate the available knowledge and draw useful connections between conceptions on different levels. Guidance should focus on the problem-solving process rather than the possible answers (Schwarz et al., 2008).

A fruitful structure for guiding the process of problem-solving and explaining in biology is the yoyo learning and teaching strategy. Named after the famous toy, this strategy proposes to move up and down the levels of organization like a yoyo (Knippels, 2002; Knippels et al., 2005). Our study relies on adapted yoyo learning principles as listed in Table 1 (Jördens et al., 2016, p. 961; Tripto et al., 2016, p. 568).

To make these learning principles operative, we invented a tool to cope with the complexity of explaining biological phenomena—the zoom map. This new graphic organizer guides learners in the process of explaining and prompts them to consider the relevant entities and their relationships, as it makes levels of organization explicit. As the name reveals, the zoom map draws on the metaphor of zooming. This metaphor's experiential source domain is bringing an object near to the eye to see more details or stepping back to get an overview, not to mention image scaling on digital devices that allow magnifying or shrinking. Zooming biological phenomena consequently lead to stopovers at the levels of organization. Zooming in focuses on smaller sections of the scientific problem; zooming out takes the whole or the context into account (Brooks 2019; Schneeweiß and Gropengießer 2019). Moreover, zooming calls for relating the entities on the different levels. The zoom map fosters students' causal explanations across levels of organization through the inherent demand to consider the respective levels. Therefore, the zoom map may help students structure and interrelate fragmented knowledge and achieve integrated knowledge.

Within the levels, the horizontal relations are drawn similar to concept maps (Novak and Cañas 2006). We adapted the concept map because it has already proven fruitful in the context of systems thinking (Brandstädter et al., 2012; Dauer et al., 2013; Schwartz & Brown, 2013; Schwendimann & Linn, 2016) and is known for its capability to foster conceptual interrelations (Fischer et al., 2002; Novak & Gowin, 1984; Van Drie et al., 2005). Combining zooming with concept-mapping is the core idea of the zoom map.

By zooming into an entity on one level, one reaches a lower level. In the zoom map, this is implemented in the following way: Ellipse shapes indicate organization levels. Each level features its own concept-map displaying the structures and relations concerning a phenomenon. By zooming into the term that denotes a structure on one level, one reaches another lower level. Vertical arrows indicate vertical interrelation; horizontal arrows indicate horizontal interrelation (Figure 4).

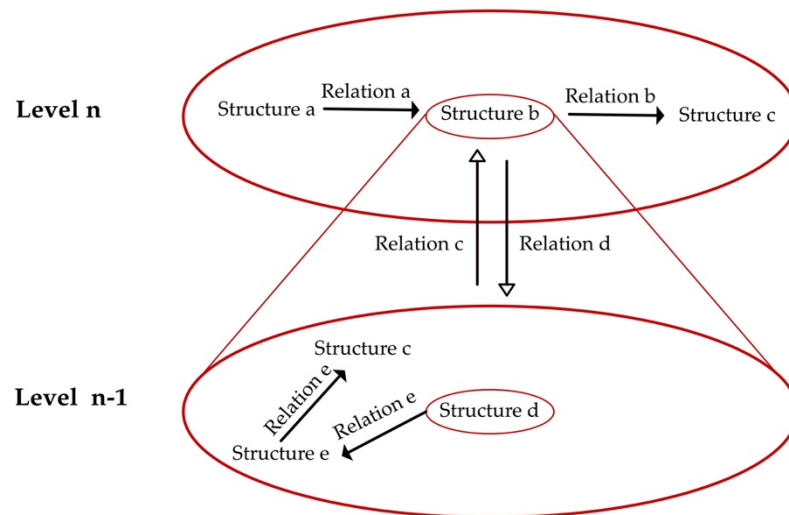


Figure 15: Principle of the zoom map.

Since levels are phenomenon-specific, the zoom map layout may and should be adapted to the phenomenon in question. For example, explanations of physiological phenomena will require the level of the organism and below, while explanations of evolutionary phenomena will require the levels above the organism as well, such as the level of population. Depending on the phenomenon—for example, when comparing two different organisms—it may be adequate to juxtapose or diverge the zoom maps (Figure 5).

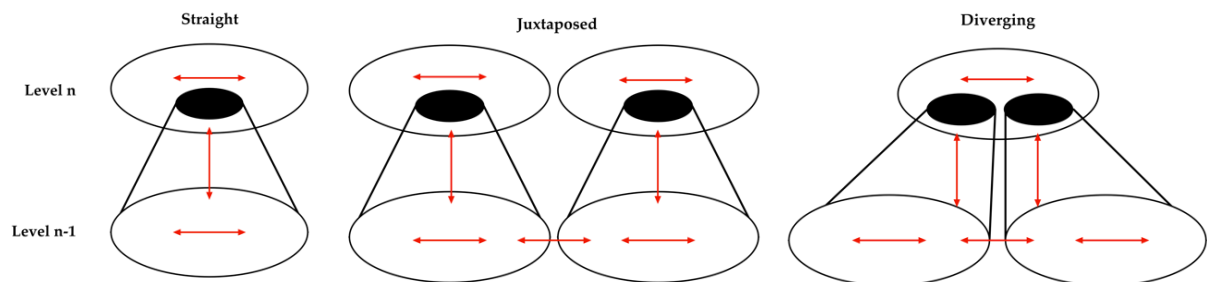


Figure 16: Different ways of zooming in the zoom map. Red arrows indicate horizontal and vertical interrelation.

To support students explaining phenomena, teachers should structure learning environments according to the principles of systems thinking, for example with yoyo learning (Knippels, 2002). The zoom map supports the construction of explanations according to systems thinking, as shown in Table 1.

Table 5: The zoom map supports yoyo learning

<b>yoyo learning</b> (Jördens et al., 2016, p. 961; Tripto et al., 2016, p. 568)	<b>Support by the zoom map</b>
1. <b>Distinguishing different levels of organization</b>	The zoom map explicitly displays the system levels as stacked wide ellipses.
2. <b>Identifying the entities and processes of a system (and relate them to a level)</b>	System entities can be assigned to a system level by writing them into the ellipses. In Figure 11, the cell membrane and the cell wall are assigned to the cell level.
3. <b>Linking concepts at the same level of organization (horizontal coherence)</b>	The system entities are linked by words or phrases forming propositions if the reading direction indicated by arrows is followed. The rules for the construction of concept maps apply. Propositions should be meaningful.
4. <b>Linking concepts at different levels of organization (vertical coherence)</b>	In the zoom map, one can zoom into each structure and describe the system at a lower level ( $n - 1$ ). The different levels can be related vertically. See 11 as an example.
5. <b>Thinking back and forth between levels (also called yoyo learning)</b>	In an effort to explain a phenomenon, learners should start at that very level. With the help of supporting material, learners can move downwards and explore each level repeating steps 1 to 4. Finally, based on their zoom map, they can try to give a mechanistic explanation of the phenomenon or identify missing knowledge. This step usually involves moving upwards in the zoom map.
6. <b>Metareflection about the question of which levels have been transected</b>	Moving across levels and reflection on levels is an immanent process of the construction of a zoom map. The first reflection of levels occurs when system entities are assigned to levels. The second reflection of levels concerns the horizontal and vertical interrelations. In the construction process, learners have to discuss these interrelations. After the construction of an individual zoom map, meaningful comparisons to other zoom maps may support learning. The teacher should give feedback and orientation if needed.

### Proof of principle—the wilted painted nettle

We showed two painted nettles (Figure 6) and asked, “Why are the leaves of the left plant upright and the leaves on the right wilted?”; a typical student answer would be, “Because it [the plant] was not watered.”

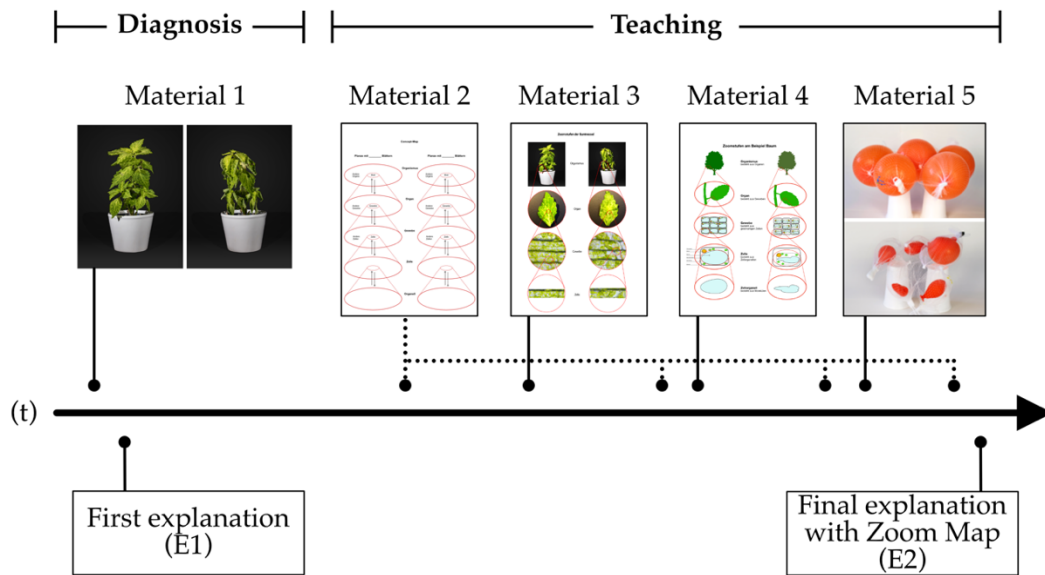
This explanation is viable in everyday life, but a biologist would formulate a mechanistic explanation that connects water to the leaves' appearance and structure. A short version of a mechanistic explanation would be: Water filling the cells protoplast will be pressurized by straining the cell wall. The cell wall is a somewhat elastic, tensile strength structure. Due to its properties, the cell wall limits the expansion of the protoplast (Campbell et al., 2008, p. 770; Thoday, 1918). The hydraulic interaction between protoplast and cell wall results in a turgid cell, comparable to an inflated football. Interacting with the other cells of the mesophyll, the leaves become turgid, comparable to several inflatable tubes that form a boat. This mechanistic explanation spans several organization levels, such as organelle, cell, tissue, and organ.



Figure 17: Material 1 (M1) shows a painted nettle (*Coleus scutellarioides*) in regular and wilted condition.

In our study, we examined how students construct scientific explanations of the wilted painted nettle with the zoom map's help. We developed and conducted teaching experiments (Komorek & Duit, 2007; Steffe & Thompson, 2000), as well as a study design that is open and flexible and allows for interventions (see Figure 7).





*Figure 18: Timeline of the teaching experiment.*

### The zoom map prepared for a particular explanation

The students received a series of instructional materials (M2–M5). Apart from the material, the teacher offered no further explanation of the phenomenon. Instead, the teacher instructed the students to interact with the material with impulses such as “describe” or “what do you see?”. The first material that the students received was the zoom map (M2). Since students had never worked with this tool, we chose a semi-structured approach. The zoom map already displayed the relevant levels of organization (Figure 8). Throughout the teaching segment, we asked participants to complete the zoom map.

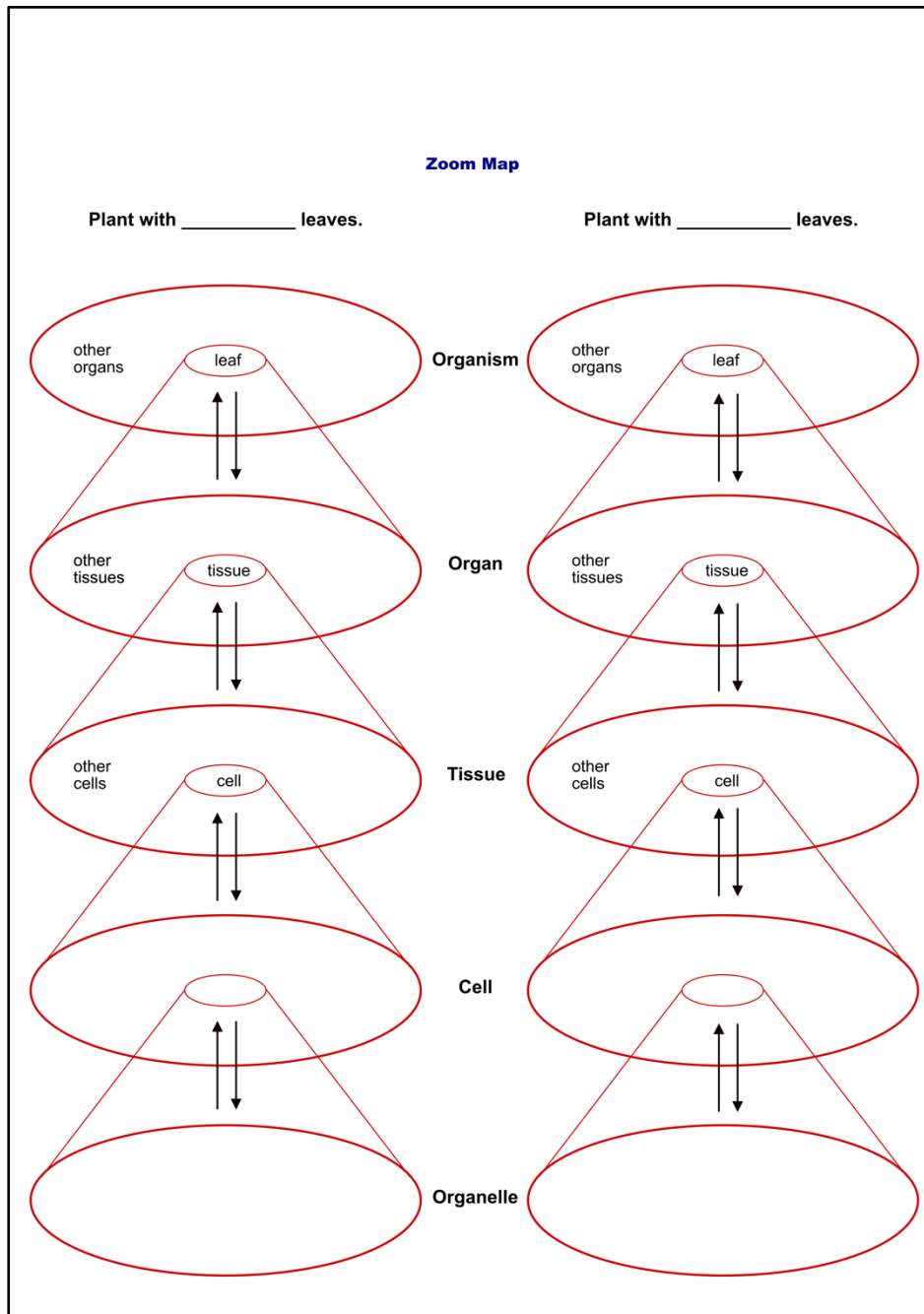
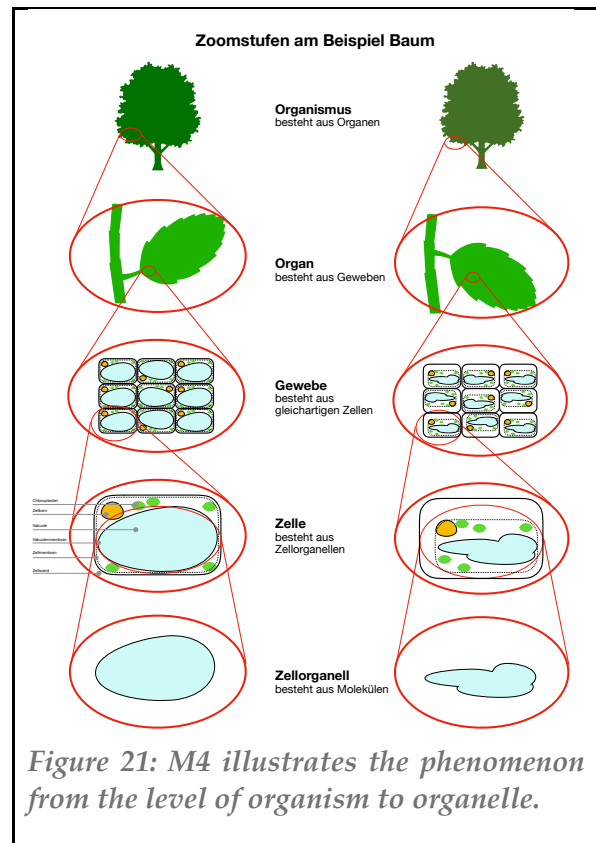
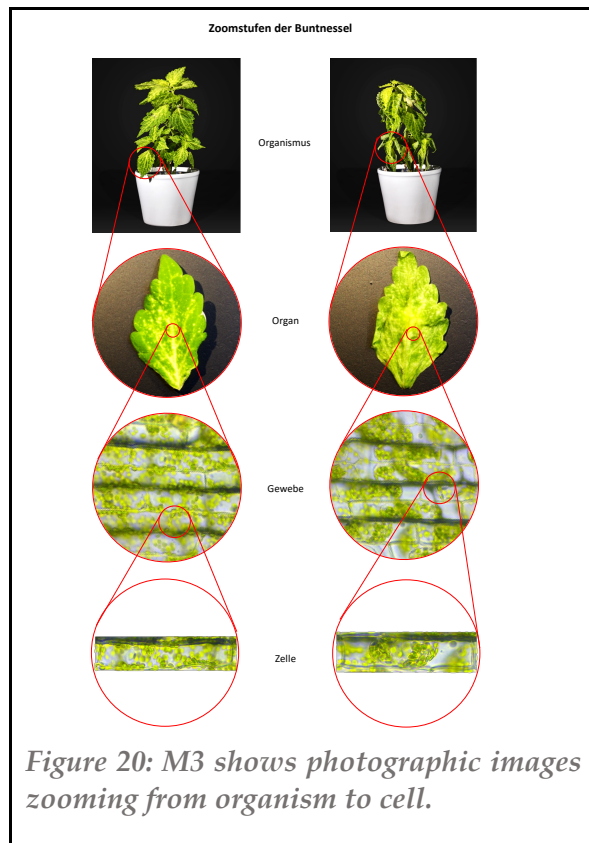


Figure 19: Material 2, the zoom map used in the teaching experiment (translated).

### Experience-based conceptions are needed to construct an explanation

The zoom map is intended to guide the process of a phenomenon's explanation. Even if the phenomenon is plainly perceptible, the causal explanation entities are probably not well known. Students need experience-based conceptions on the phenomenon. This is especially relevant if students have to consider levels that are within the microcosm (Niebert & Gropengiesser, 2015). Therefore, one key aspect is that students get the opportunity to investigate the phenomenon themselves or are provided with external representations of entities and their properties. Ideally, the phenomenon on all relevant levels of organization is depicted (Figures 9 and 10). We show our worksheets on the phenomenon of wilted and erected leaves as an example.



### External representations depict the mechanism

We handed the participants two models that were intended to represent the mechanism needed for explanation. The models consisted of balloons connected with nets. One model had firm and one limp balloons. The balloons were intended to represent the protoplast, the nets the connected cell walls at the level of tissue.

At the end of the teaching experiment, students were asked to explain the phenomenon based on their zoom map (E2: final explanation with the zoom map).

### Participants

We conducted the teaching experiment with 13 students in seven groups. The students attended a public high school in northern Germany. For analysis, we recorded the audio and video of each teaching experiment. On average, the teaching experiments lasted about 48 minutes (Table 2).



Table 6: Participants.

teaching experiment	A	B		C		D		E		F		G	
students	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
age [years]	15	17	16	16	17	16	16	16	16	17	17	17	17
duration [min]	43	50		78		39		40		49		38	

## Methods

To prepare the analysis, we transcribed the interviews and scanned the edited materials. We identified the sections of the interviews relevant for the explanation of the upright and wilted leaves. The further analysis of these sections was based on the computer-supported qualitative analysis (Kuckartz, 2010).

### A zoom map to explain upright and wilted leaves

The zoom map of teaching experiment C explains the phenomenon on the relevant levels (organism to organelle) and interrelates system parts. Downward links are labeled with “consist of” (Figure 11). Students, therefore, used the part-whole scheme to explain how lower and higher levels were related. The lower levels have “an effect” on the higher levels, as labeled on upwards links.

Based on their zoom map, Student S4 and S5 explained the phenomenon as such:

S5: Well, the individual cells are filled in a fitting manner by the nucleus, chloroplasts, and also the vacuoles, which actually take up a large part of the cell. Therefore, when the vacuole is filled with sufficient quantity, it presses against the cell membrane, and this, in turn, presses against the cell wall, which is why the individual cells are very stable—because they are pressed from the inside out and cannot collapse somehow. Therefore the cells are—no, therefore the tissue, which consists of different cells is also ... well, it presses everything against each other, and that is why it is very stable, and then individual tissues press against each other, and that is why the whole leaf is filled from the inside and cannot collapse at all—because everything is filled from the inside.

(C, S5, l. 317)

S4: Then with wilted leaves ... so the general problem is that there is too little cell plasma, and this is the reason why the vacuole decreases. Because there is too little water or too little substance in it, it [the vacuole] contracts and because it takes up a large part of the cell, the cell membrane, and in general the whole cell, is shrinking. Therefore, it can no longer fill the cell as a whole, meaning on the outside. And that's why gaps are created that then make the whole unstable. If we are now here on the tissue level and there is no cohesion within the cell membrane and the outer part [cell wall], it limits it, doesn't it? Well, in any case, it [the tissue] becomes unstable because of these spaces that are created by this, and the whole leaf appears to be withered.

(C, S4, l. 318)

In their explanation, students S5 and S4 addressed the levels from organ to organelle. To explain the upright leaf, student S5 started at the cell level by describing its filling. He then switched to the level of the organelle and reported that the vacuole was filled. His explanation of the interaction between vacuole, cell membrane, and cell wall (pneu principle) was on the cell level. He continued with the tissue level in his explanation: stable cells pressed against each other, which made the tissue stable. On the level of the organ, tissues pressed against each other, making the leaf itself stable.



Student S4 explained the withered state. Its mechanism started at the organelle level, with missing cell plasma in the vacuole followed by contraction of the vacuole. The student then switched to the cell level and reported that the cell was shrinking and that gaps were created that had an effect on the level tissue, which became unstable. Therefore, the leaves appear withered.



Zoom Map

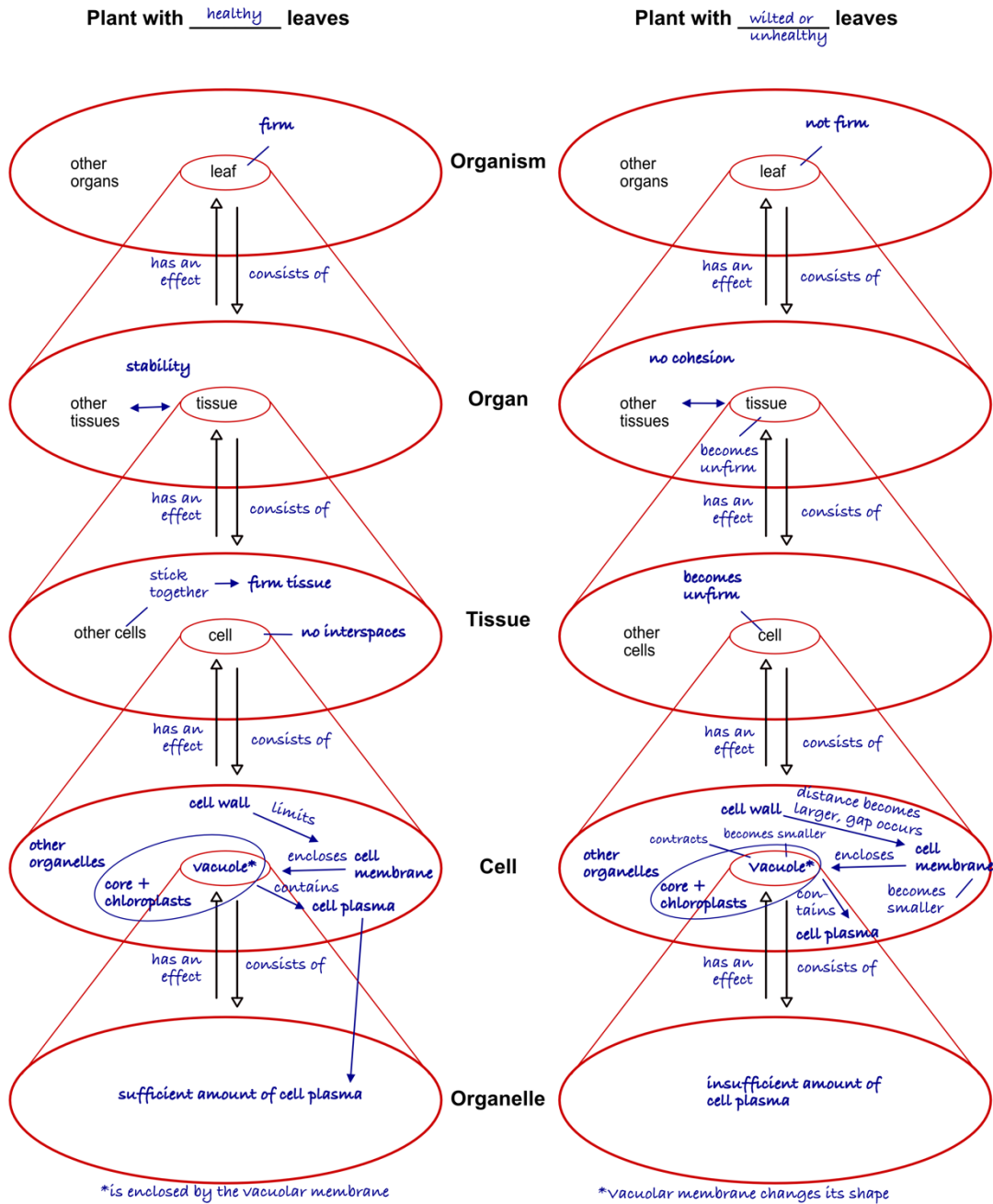


Figure 22: Zoom map constructed by students S4 and S5 of teaching experiment C. The students' answers are shown as handwritten (digitalized and translated from German).

### A zoom map demands exhaustive editing

The difficulties that students face during the construction of a zoom map can be turned into learning opportunities. As an example of a zoom map that can be improved, we present the map of teaching experiment G (Figure 12). The zoom map explains the phenomenon only on the levels of tissue to organelle. Most of the few interrelations that were drawn are unlabeled. In their final explanation, the students did not further elaborate on these unlabeled arrows. With their zoom map, the students offered the following final explanations of the phenomenon:

S13: Yes, I would say the phenomenon simply refers to the vacuole. That is, it [the vacuole] has the greatest effect on the appearance of the plant. Simply, if there is a corresponding amount of water or cell sap, whatever, that fills the vacuole. Then the leaves will look green, and they will stand by themselves. And the less water is in this vacuole, the more wrinkled and wilted these leaves will look. And then they don't have as much stability.  
(G, S13, l. 224-229)

S12: Yes, well, I think it is also possible that the plant is drying up or simply was not watered ... that is, then it dried up. And because of that, there is too little water or cell plasma in this vacuole, as you just said. This causes the cell, no, the vacuole, to contract. Thus, it also shrinks the cell. The cells are no longer in good contact with each other. This causes gaps to form, and the tissue ... so this is the tissue. And on the organ level, it just withers and collapses.  
(G, S12, l. 230-336)

In their final explanation, students S12 addressed levels from organism to organelle, while S13 skipped the levels of tissue and cell. S13 did not describe a mechanism but presented the vacuole (level of organelle) as the cause of the leaf's appearance. This may be due to the unclear interrelations on the level of the cell and the tissue. The explanation of S13 was closer to a mechanism. On the level of organelle, he pointed to missing water and filling of the vacuole. He mentioned the vacuole's contraction and the cell on the level of the cell, although he did not write it down in his zoom map. With cells not being in contact with each other, the tissue was a "net with gaps." The leaf was therefore withered.

In a classroom setting, the students presented their zoom map to be discussed by their peers. We asked all students to develop their zoom map further and label the interrelations. By asking, "How does the vacuole affect the leaf?", we made the missing interrelations explicit. Since S13 skipped the levels of tissue and cell, he might not have been able to label the interrelations on these levels. In cases such as this, students should write down questions and difficulties arising during the construction process.



Zoom-Map

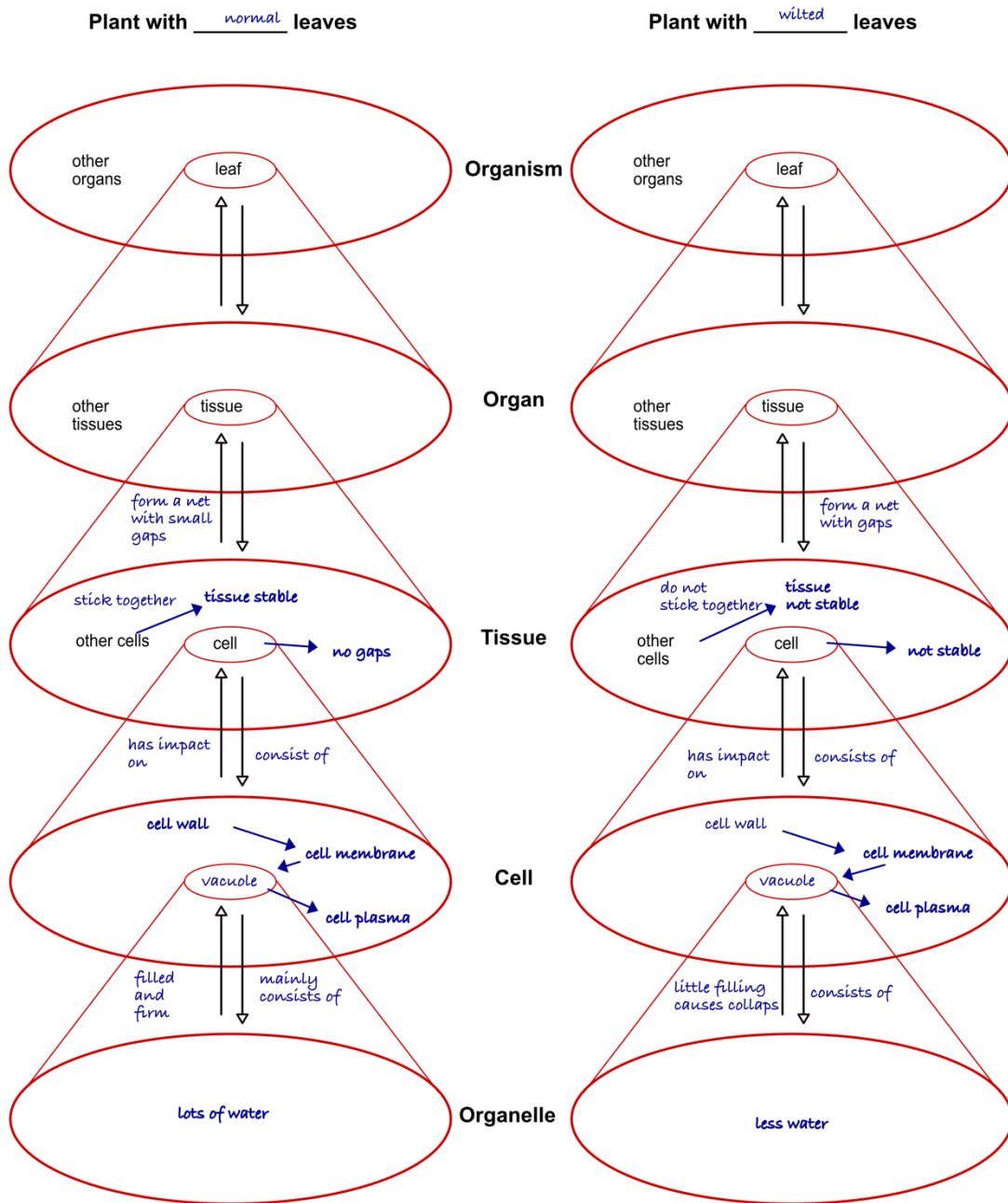


Figure 23: Zoom map constructed by students S12 and S13 of teaching experiment G. The students' answers are shown as handwritten (digitalized and translated from German).



### Learners drill down to deeper levels in their explanations

The first explanation was conducted without the zoom map. Twelve students put forward an explanation; one student (S10) did not explain the phenomenon. An example of a first explanation mentioning only the two levels organism and organ is:

S1: “On the right [plant], the [leaves] are partly curled up as if they were contracting, as if there was some kind of lack of liquid. So, the leaves also contain liquid somehow and as if that would be missing. The left [plant] is different; it looks healthy, like normal leaves. [...] This is because the plant on the left has been watered and treated sensibly.”  
(A, S1, l. 7-11, translated)

In the first explanation, students focused on the level of organism (eight students) and organ (eight students). One student each considered the levels of tissue and cell. None of the students addressed the level of the organelle.

In the final explanation of the phenomenon, 12 students put forward explanations; student S7 did not explicitly explain the phenomenon.

After instruction, student S1 explained the phenomenon on levels from the organelle to the organism:

“S1: “This is because in the cell organelles, the vacuole, they contain liquids. And in the healthy plant, there is simply more liquid in the vacuole than in the dried-up one; there is less. Because of this, the cell membrane contracts because of the less [liquid], and there is space between the cell membrane and the cell wall. The cell membrane encloses the nucleus, the chloroplasts, and the vacuoles. Here, the nucleus and the chloroplasts are present in both [plants], but the difference lies in the size of the vacuoles. And this is where it contracts.”

I: What contracts?

S1: In the dried [plant]. [...] The cell membrane contracts, and the cell wall remains the same. This means that there is some space in the tissue between the two, and that is why it seems to have shrunk. And here, in the healthy [plant], the cell membrane needs more space to enclose the larger fluid in the vacuole. [...] This means that there is less space in between, and the leaf looks healthier because there is more liquid in it.” (A, S1, l. 166-170, translated)

Students addressed the relevant levels for the causal argument in the final explanations guided by the zoom map. Eleven students elaborated on the organ and organelle levels, and 10 students on the level of tissue. Eight students each addressed the levels of organism and cell. Overall, in the final explanation with the zoom map, students considered more and deeper levels. In some oral explanations, students addressed different levels than in their zoom maps, as shown for teaching experiment G (Figure 13).

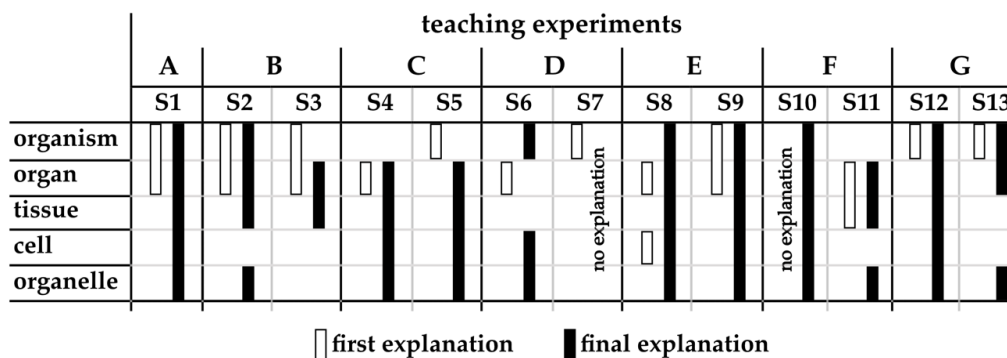


Figure 24: Levels that students addressed in their oral explanations.

**Direction of explanation: top-down, bottom-up, or yoyo**

We identified five possible directions of explanation: one level only (O) with no direction in the proper sense, downwards (D), upwards (U), downwards-upwards (D-U), and upwards-downwards (U-D).

Of the first explanations, we coded seven explanations as O, focusing only on one level of organization. An example of an explanation on one level only is the first explanation of S7: “Maybe the plant has not been watered” (D, S7, l. 4). Three explanations could be rated D; they moved from a higher level of organization to at least one lower level. Two students gave an explanation that we rated as D-U. Their explanation moved to a lower level and back to higher levels. None of the first explanations moved upwards or upwards-downwards—arguably, because the microcosm entities such as cells or organelles are not as familiar as mesocosmic leaves or plants.

The direction of most students' explanation changed in the final explanation: seven moved U, four moved D-U, and one moved U-D. None of the final explanation was rated O or D.

In general, the direction of students' explanations shifted from O or D to U or D-U (Table 3). The yoyo principle, that is, D-U or U-D, was realized two times in the first explanation and five times in the final explanation.

*Table 7: Direction of students' explanation (O: One level only, D: Downwards, U: Upwards, D-U: Downwards-Upwards, U-D: Upwards-Downwards).*

	First Explanation (E1)					Final Explanation (E2)				
	O	D	U	D-U	U-D	O	D	U	D-U	U-D
S1				•				•		
S2	•									•
S3	•								•	
S4	•							•		
S5	•							•		
S6		•							•	
S7	•					no explanation				
S8				•					•	
S9		•							•	
S10	no explanation							•		
S11		•						•		
S12	•							•		
S13	•							•		

## Discussion

To explain the case of upright and wilted leaves in everyday situations it would do to refer to the mesocosm respectively sufficient or missing water. Most of the students in our teaching experiments initially brought forward a similar explanation of organism and organ levels. Only a few explanations went beyond entities that can be seen with the naked eye. A biological explanation, in contrast, is more challenging because it includes a mechanism. The phenomenon that should be explained, in most cases, needs to be related to deeper levels of organization that lie within the microcosm—a part of reality that is only accessible through the use of science-based technologies such as microscopes. Processes on the microcosm are predictably hard to understand (Niebert & Gropengießer, 2015). Students, therefore, need support, for example, through visualizations or models (like M3-5).

In our teaching experiments, students managed to construct zoom maps that explained the upright and wilted leaves of the painted nettle, albeit the maps differed in the explanation's quality. Working with a zoom map will not by itself lead to a correct explanation. To grasp the mechanism of the scientific explanandum, learners need to understand and apply the principle as realized in footballs or plant cells, and they have to extend this principle to the level of tissue, leaf, and plant. However, the zoom map can explain the relevant levels by demanding explicitly stated relationships between the entities of different levels and asking for links within levels. Even if not all aspects of an explanation are known or understood, one can identify the knowledge gaps. Nonetheless, exhaustive editing is a prerequisite. Zoom maps can be easily be compared, and discussions can be conducted in a highly structured manner.

In our analysis of the students first and final explanation, we were able to point out two aspects:

First, after learning with the zoom map, students considered more of the relevant levels. Second, the students considered deeper levels—the levels of the cell and the organelle.

In our analysis of the direction of explanation, we were able to show that the direction of their explanations changed (Table 3). While the prevalent first explanation was restricted to one level only, the prevalent direction in the final explanation was upwards, and five out of 12 students even used the yoyo principle to some extent.

### Implications for biology teaching

1. Biological phenomena need to be examined and explained on multiple levels. Depending on the phenomenon, explanations require the usage of different sets of levels, which relates to the different relationships that facilitate the levels. Explanations may use components from lower or higher levels of organization of a given phenomenon (Brooks, 2021; Novikoff, 1945; Schneeweiß & Gropengießer, 2019);
2. Levels of organization can bring structure to otherwise unstructured scientific problems if they are made explicit (Brooks, 2019; Hammann, 2019; Schneeweiß & Gropengießer, 2019);
3. To support students in explaining phenomena, teachers should structure learning environments according to the principles of systems thinking for example via yoyo learning (Knippels, 2002). Teaching should focus on interrelating concepts within and across levels of organization (Hammann, 2020);
4. Students do not automatically consider the levels of organization; they need to be encouraged, and levels of organization have to be made explicit (Hammann, 2019; Reinagel & Bray Speth, 2016);
5. Students need guidance during the problem-solving process (Schwarz et al., 2008);
6. The zoom map can structure and guide problem solving and explanations across the levels of organization.



## Literature

- Boersma, K. T., & Geraedts, C. (2009). The interpretation of students' lamarckian explanations. Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB),
- Brandstädter, K., Harms, U., & Großschedl, J. (2012). Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices. *International Journal of Science Education*, 34(14), 2147-2170. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.716549>
- Brooks, D. S. (2019, Oct 24). A New Look at 'Levels of Organization' in Biology. *Erkenntnis*. <https://doi.org/10.1007/s10670-019-00166-7>
- Brooks, D. S. (2021). Levels of Organization as Tool and Doctrine in Biology. In D. S. Brooks, J. diFrisco, & W. C. Wimsatt (Eds.), *Levels of Organization in the Biological Sciences*. MIT Press.
- Brown, M. H., & Schwartz, R. S. (2009, Sep). Connecting Photosynthesis and Cellular Respiration: Preservice Teachers' Conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(7), 791-812. <https://doi.org/10.1002/tea.20287>
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M., Wasserman, S., Minorsky, P. V., & Jackson, R. (Eds.). (2008). *Biology* (8. ed.). Pearson
- Clark, D. B. (2006). Longitudinal conceptual change in students' understanding of thermal equilibrium: An examination of the process of conceptual restructuring. *Cognition and Instruction*, 24(4), 467-563. [https://doi.org/DOI 10.1207/s1532690xci2404\\_3](https://doi.org/DOI%2010.1207/s1532690xci2404_3)
- Dauer, J., & Dauer, J. (2016). A framework for understanding the characteristics of complexity in biology. *International Journal of STEM Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0047-y>
- Dauer, J. T., Momsen, J. L., Speth, E. B., Makohon-Moore, S. C., & Long, T. M. (2013, Aug). Analyzing change in students' gene-to-evolution models in college-level introductory biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(6), 639-659. <https://doi.org/10.1002/tea.21094>
- DiSessa, A. A., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004, Nov-Dec). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28(6), 843-900. <https://doi.org/10.1016/j.cogsci.2004.05.003>
- Eilam, B. (2012). System thinking and feeding relations: Learning with a live ecosystem model. *Instructional Science*, 40(2), 213-239. <https://doi.org/10.1007/s11251-011-9175-4>
- Eronen, M. I., & Brooks, D. S. (2018). *Levels of Organization in Biology*. Retrieved 10.11.2018 from <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/levels-org-biology/>
- Fischer, F., Bruhn, J., Grasel, C., & Mandl, H. (2002, Apr). Fostering collaborative knowledge construction with visualization tools. *Learning and Instruction*, 12(2), 213-232. [https://doi.org/Doi 10.1016/S0959-4752\(01\)00005-6](https://doi.org/Doi%2010.1016/S0959-4752(01)00005-6)
- Hammann, M. (2019). Organisationsebenen biologischer Systeme unterscheiden und vernetzen: Empirische Befunde und Empfehlungen für die Praxis. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Eds.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (pp. 1-19). Springer Spektrum.



- Hammann, M. (2020). Wissensstrukturansätze in der Schülervorstellungsforschung. In B. Reinisch, K. Helbig, & D. Krüger (Eds.), *Biologiedidaktische Vorstellungsforschung: Zukunftsweisende Praxis* (pp. 43-54). Springer Spektrum. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-61342-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61342-9_4)
- Hempel, C. G., & Oppenheim, P. (1948). Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135-175.
- Izsak, A. (2005). "You have to count the squares": Applying knowledge in pieces to learning rectangular area. *Journal of the Learning Sciences*, 14(3), 361-403. [https://doi.org/DOI.10.1207/s15327809jls1403\\_2](https://doi.org/DOI.10.1207/s15327809jls1403_2)
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Jördens, J., Asshoff, R., Kullmann, H., & Hammann, M. (2016). Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution. *International Journal of Science Education*, 38(6), 960-992. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1174790>
- Knippels, M. C. P. J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education - The yoyo teaching and learning strategy* (Vol. 43). CD-β Press.
- Knippels, M. C. P. J., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2005, Sum). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3), 108-112. <https://doi.org/Doi.10.1080/00219266.2005.9655976>
- Kuckartz, U. (2010). *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten* (Vol. 3. Auflage). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- MacMahon, J. A., Phillips, D. L., Robinson, J. V., & Schimpf, D. J. (1978, Nov). Levels of biological organization: an organism-centered approach. *BioScience*, 28(11), 700-704. <https://doi.org/10.2307/1307320>
- Marton, F. (1981). Phenomenography - describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10(2), 177-200.
- Mitchell, S. D. (2012). *Biological Complexity and Integrative Pluralism*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511802683>
- Niebert, K., & Gropengiesser, H. (2015). Understanding Starts in the Mesocosm: Conceptual metaphor as a framework for external representations in science teaching. *International Journal of Science Education*, 37(5-6), 903-933. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1025310>
- Novak, J. D. (1990, Dec 20). Concept Mapping - a Useful Tool for Science-Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949. <https://doi.org/DOI.10.1002/tea.3660271003>
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2006). The origins of the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization*, 5, 175-184.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- Novikoff, A. B. (1945, Mar 2). The Concept of Integrative Levels and Biology. *Science*, 101(2618), 209-215. <https://doi.org/10.1126/science.101.2618.209>



- Reinagel, A., & Bray Speth, E. (2016, Spring). Beyond the Central Dogma: Model-Based Learning of How Genes Determine Phenotypes. *CBE Life Sci Educ*, 15(1), ar4. <https://doi.org/10.1187/cbe.15-04-0105>
- Schneeweiß, N., & Gropengießer, H. (2019). Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Education Sciences*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/educsci9030207>
- Schwartz, R., & Brown, M. H. (2013). Understanding Photosynthesis and Cellular Respiration: Encouraging a View of Biological Nested Systems. In D. F. Treagust & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (pp. 203-224). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8>
- Schwarz, B., Perret-Clermont, A.-N., Trognon, A., & Marro, P. (2008). Emergent learning in successive activities - Learning in interaction in a laboratory context. *Pragmatics & Cognition*, 16(1), 57-87. <https://doi.org/10.1075/p&c.16.1.05sch>
- Schwendimann, B. A., & Linn, M. C. (2016, Jan). Comparing Two Forms of Concept Map Critique Activities to Facilitate Knowledge Integration Processes in Evolution Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 70-94. <https://doi.org/10.1002/tea.21244>
- Thoday, D. (1918). On Turgescence and the Absorption of Water by the Cells of Plants. *The New Phytologist*, 17(5/6), 108-113.
- Tripto, J., Ben-Zvi Assaraf, O., Snapir, Z., & Amit, M. (2016, Mar 3). The 'What is a system' reflection interview as a knowledge integration activity for high school students' understanding of complex systems in human biology. *International Journal of Science Education*, 38(4), 564-595. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1150620>
- Van Drie, J., Van Boxtel, C., Erkens, G., & Kanselaar, G. (2005). Using Representational Tools to Support Historical Reasoning in Computer-supported Collaborative Learning. *Technology, Pedagogy and Education*, 14(1), 25-42.
- Vollmer, G. (1984). Mesocosm and Objective Knowledge. In F. M. Wuketis (Ed.), *Concepts and Approaches in Evolutionary Epistemology* (Vol. 36). Springer. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-009-7127-1\\_4](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-009-7127-1_4)
- Wagner, J. F. (2006). Transfer in pieces. *Cognition and Instruction*, 24(1), 1-71. [https://doi.org/DOI 10.1207/s1532690xci2401\\_1](https://doi.org/DOI%2010.1207/s1532690xci2401_1)
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3-19. <https://doi.org/10.1023/a:1009421303064>



## 10.6 PUBLIKATION 6: Praxisartikel zum Einsatz der Zoom Map

### Angaben zur Publikation

#### Box 11: Literaturangaben von Publikation 6 - Praxisartikel



Schneeweiß, N. & Gropengießer, H.



Biologische Phänomene durch Zoomen und Jojo-Lernen auf allen Ebenen erklären.



BU-Praktisch, (5)1



Eingereicht am 09.03.2022. Angenommen am 17.03.2022. Publiziert 12.07.2022



HerausgeberInnen-Review

DOI

<https://doi.org/10.11576/bupraktisch-5276>

Abgedruckt wird das angenommene Manuskript inklusive zugehörigem Unterrichtsmaterial.

### *Darstellung der Eigenleistung*

Die Unterrichtsreihe sowie das Unterrichtsmaterial wurde von mir entwickelt und durchgeführt. Das Manuskript wurde von mir verfasst und gemeinsam mit Prof. Harald Gropengießer überarbeitet.



# Biologische Phänomene durch Zoomen und Jojo-Lernen auf allen Ebenen erklären

## Darstellung einer exemplarischen Unterrichtsankregung mit der Zoom Map

Niklas Schneeweiß, Harald Gropengießer  
Leibniz Universität Hannover, Am Kleinen Felde 30, 30167, Hannover,  
[schneeweiss@idn.uni-hannover.de](mailto:schneeweiss@idn.uni-hannover.de)

Bei der Erklärung komplexer biologischer Phänomene fällt es Lernenden in der Regel schwer, die Organisationsebenen des Lebendigen angemessen zu berücksichtigen und zu vernetzen. Daher bedarf es einer entsprechenden Unterstützung. Wenn der Unterricht anhand des Jojo-Lernens strukturiert wird, können die verschiedenen Ebenen bewusst durchschritten werden. Außerdem sollten die Organisationsebenen explizit formuliert und eingebunden werden. Dies kann mithilfe der Zoom Map umgesetzt werden. Im vorliegenden Beitrag wird das Vorgehen am Beispiel des Unterrichtsgangs zur Zellbiologie im 11. Jahrgang skizziert.

Stichwörter: Organisationsebenen, Jojo-Lernen, Zoom Map, Zellbiologie, Unterrichtspraxis

## 1 Einleitung

Lernenden fällt es in der Regel schwer, komplexe biologische Phänomene angemessen zu erklären. In allen biologischen Themen (von Genetik bis Ökologie) zeigen sich dabei ähnliche Lernschwierigkeiten in Bezug auf die Organisationsebenen (Hammann, 2019; Schneeweiß & Gropengießer, 2019). Aus diesem Grund sollten die Organisationsebenen bei der Planung und Durchführung von Unterricht berücksichtigt werden. Mit dem Jojo-Lernen gibt es bereits eine Strategie, die es Lernenden ermöglichen soll, die Organisationsebenen besser zu verknüpfen (Knippels, 2002). Bei dieser Lernstrategie wird der Unterrichtsgang entlang der Organisationsebenen ausgerichtet und die Ebenen werden von oben nach unten und wieder nach oben durchschritten – wie beim Spielen mit einem Jojo. Dennoch müssen die Inhalte und Ebenen explizit ausformuliert und vernetzt werden. Dabei kann die Zoom Map ein geeignetes Werkzeug sein. Eine Zoom Map basiert auf den Regeln der Concept Map und wurde speziell für die Reflexion und Vernetzung von biologischen Organisationsebenen konzipiert (Schneeweiß & Gropengießer, 2021). Am Beispiel der Zellbiologie der 11. Jahrgangsstufe wird in diesem Beitrag der Einsatz in einer Unterrichtsreihe vorgestellt.





Für interessierte Leser\*innen werden dazu zunächst die theoretischen Hintergründe erläutert. Im Anschluss werden Unterrichtseinheit und Unterrichtsstunde dargestellt.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Lernschwierigkeiten im Zusammenhang mit Organisationsebenen

In mehreren empirischen Untersuchungen wurden Lernschwierigkeiten beobachtet, die sich auf drei grundlegende Fehler im Zusammenhang mit den Organisationsebenen zurückführen lassen (Hamann (2019); Schneeweiß and Gropengießer (2019):

- Lernende erklären nur auf einer Organisationsebene  
Beispiel: Bei der Erklärung des Phänomens *Welken* verweisen Lernende nur darauf, dass dem Organismus Wasser fehlt (Torkar et al., 2018).
- Lernende vernetzen die Organisationsebenen nicht  
Beispiel: Bei der Erklärung des *Kohlenstoffkreislaufs* vernetzen Lernende die Ebene der Atome nicht mit der Ebene der Organismen (Düsing et al., 2018).
- Lernende verwechseln die Organisationsebenen  
Beispiel: Bei der Erklärung von *Anpassung* weisen Lernende Veränderungen von Merkmalshäufigkeiten nicht der Ebene der Population sondern den Individuen zu (Bishop & Anderson, 1990).

Die aufgeführten Lernschwierigkeiten erfordern im Unterricht eine besondere Berücksichtigung der Organisationsebenen. Ansätze für den Unterricht werden im nächsten Abschnitt vorgestellt.

### 2.2 Lernstrategien zur Vernetzung von Organisationsebenen

#### 2.2.1 Die Jojo-Lernstrategie

Jojo-Lernen wurde ursprünglich für den Bereich der Genetik entwickelt (Knippels, 2002), mittlerweile aber auch für andere Themen wie Evolution adaptiert (Jördens et al., 2016). Den Leitlinien des Jojo-Lernens zufolge sollte eine Unterrichtseinheit auf der Ebene des Phänomens beginnen. Häufig ist dies die Ebene der Organismen oder Organe. Im Verlauf des Unterrichts soll dann das Phänomen auf der jeweils niedrigeren Organisationsebenen untersucht werden, also zum Beispiel Organismus, Organ, Gewebe, Zellen und Moleküle. Anschließend sollten die

Organisationsebenen wieder nach oben durchlaufen und jeweils erklärt werden, welche Auswirkungen die Prozesse auf die jeweils höhere Ebene haben. Eine Metareflexion, welche Ebenen die Lernenden durchschritten haben, schärft dabei das Bewusstsein für die Relevanz der Erklärungsebenen.

### 2.2.2 Zoomen als Darstellungsmöglichkeit des Ebenenwechsels

Das Jojo-Lernen erfordert im Unterricht einen regelmäßigen Ebenenwechsel und Darstellungen der Phänomene auf verschiedenen Organisationsebenen. Als lernförderliche Analogie bietet sich aus mehreren Gründen das Zoomen an. Zoomen ist den Lernenden aus dem Alltag bekannt. Beim Reinzoomen wird der Fokus auf einen Bestandteil gerichtet, der damit vergrößert wird. Beim Rauszoomen wird der Fokus von der Einzelheit auf den gesamten Kontext gerichtet. Analog nimmt der Ebenenwechsel auf eine tiefere Ebene Bestandteile in den Blick, während der Wechsel auf höhere Ebenen das System als Kontext betrachtet (s. Abb. 1).

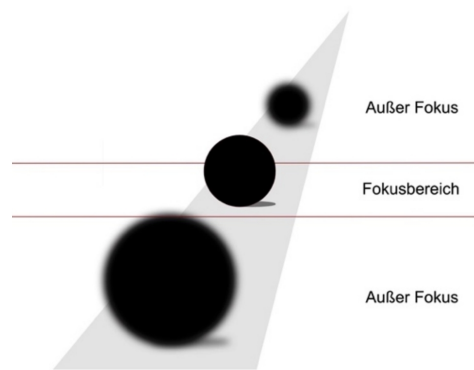


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Analogie des Zoomens.

Wie die Zoomstufe kann auch die Organisationsebene je nach Bedarf durch den Betrachter gewählt werden. Welche Ebenen betrachtet werden müssen, ist abhängig von der biologischen Fragestellung. Um diesen Aspekt zu stärken, könnten die Organisationsebenen auch Betrachtungsebenen genannt werden.

Eine Darstellungsmöglichkeit des Zoomens sind z.B. Vergrößerungsringe (s. Abb. 2). Die Analogie des Zoomens findet auch bei dem Lernwerkzeug Zoom Map Anwendung. Dieses wird im nächsten Abschnitt vorgestellt.

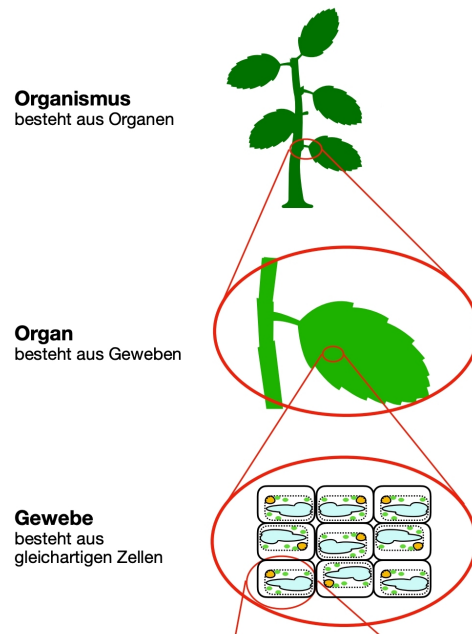


Abbildung 2: Darstellungsmöglichkeit des Zoomens.

### 2.2.3 Die Zoom Map als Lernwerkzeug

Die Zoom Map vereint die Analogie des Zoomens mit den Regeln und Prinzipien der Concept Map (s. Abb. 3) (Cañas & Novak, 2006). Dadurch werden die Organisationsebenen explizit gemacht und Lernende können Strukturen über die Organisationsebenen hinweg vernetzen.

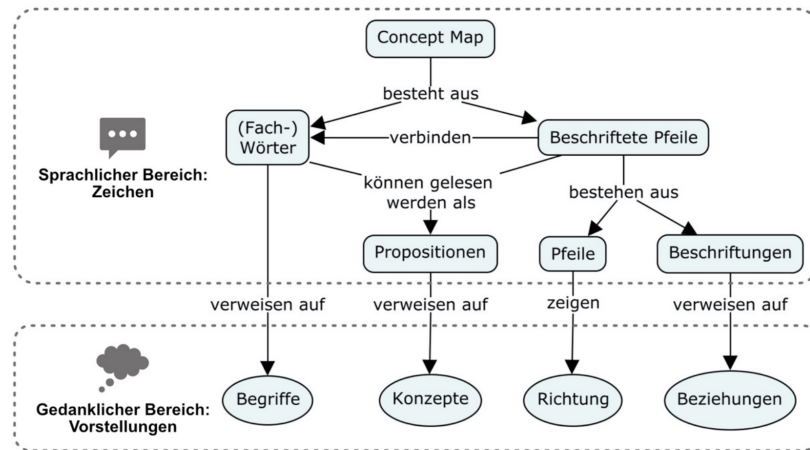


Abbildung 3: Concept Map über Concept Maps.

Die Prinzipien der Zoom Map sind:

- Die Organisationsebenen werden als Ellipsen dargestellt. Wenn man eine Struktur auf einer Ebene heranzoomt, erreicht man eine niedrigere Ebene. Wenn man herauszoomt, gelangt man auf eine höhere Ebene.
- Jede Ellipse enthält die (Fach-)Wörter, die für bestimmte (gedankliche) Begriffe stehen.
- Linien können die (Fach-)Wörter oder die Ebenen mit Verbindungswörtern (Relationen) verbinden. Wenn man die Verbindungen liest, sollten die verbundenen Wörter einen Sinn ergeben. Wird so ein Begriff mit einem oder mehreren Begriffen in Beziehung gesetzt, denkt man ein Konzept. Dies lässt sich durch einen Satz oder eine Behauptung wie „Kartoffeln bestehen aus Zellen“ aussagen (Gropengießer & Marohn, 2018).

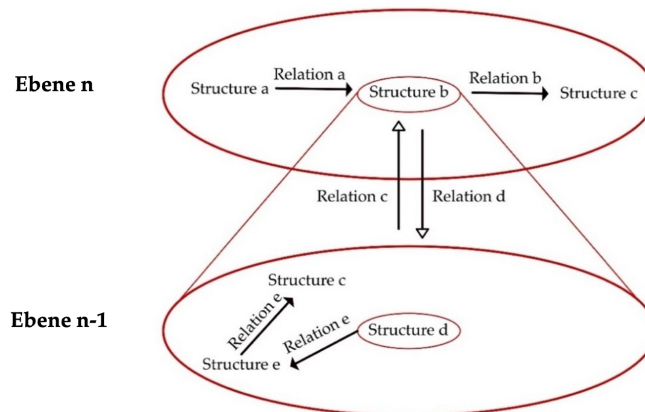


Abbildung 4: Allgemeine Darstellung des Funktionsprinzips einer Zoom Map. Dargestellt werden zwei Ebenen, Ebene n und die darunter liegende Ebene n-1 (Schneeweiß & Gropengießer, 2021, p. 6).

Durch die Darstellungsweise der Zoom Map lässt sich das Jojo-Lernen unterstützen (s. Tab. 1). Die Zoom Map kann darüber hinaus, wie Concept Maps, zur Diagnose von Vorstellungen genutzt werden, da in ihnen die individuellen Wissensnetzwerke explizit dargestellt werden (Plotz, 2019). Durch die explizite Darstellung wird für Lernende und Lehrende greifbar, welche Verknüpfung die Lernenden bereits ziehen und wo Lernbedarfe bestehen (Schneeweiß & Gropengießer, 2021).

Tabelle 1: Unterstützung der Prinzipien des Jojo-Lernens (Jördens et al., 2016; Knippels, 2002) durch die Zoom Map.

Prinzipien des Jojo-Lernens	Beitrag der Zoom Map
<b>Organisationsebenen unterscheiden</b>	Die Zoom Map stellt die verschiedenen Ebenen als breite, übereinander gestapelte Ellipsenformen dar.
<b>Systemelemente identifizieren und Organisationsebenen zuordnen</b>	Systemelemente können einer Systemebene zugeordnet werden, indem sie in die Ellipsenformen geschrieben werden.
<b>Horizontale Vernetzung</b>	In der Zoom Map können Systemelemente, die sich auf der gleichen Organisationsebene befinden, verknüpft werden. Die Systemelemente einer Ebene werden durch Pfeile verbunden, die mit einer Relation beschriftet werden.
<b>Vertikale Vernetzung</b>	In der Zoom Map können Systemelemente, die sich auf verschiedenen Organisationsebene befinden, verknüpft werden. Die Systemelemente unterschiedlicher Ebenen werden durch Pfeile verbunden, die mit einer Relation beschriftet werden.
<b>Organisationsebenen wechseln</b>	Durch die Zoom Map kann explizit zwischen Ebenen gewechselt werden (Jojo-Lernen).



### 3 Didaktische Konzeption

#### 3.1 Beispielhafte Unterrichtseinheit

Ein Lerninhalt, der von der Unterstützung der Zoom Map profitieren kann, ist die Zellbiologie in der Jahrgangsstufe 11. Die vorgestellte Reihe ist dabei als beispielhafte Unterrichts Anregung zu verstehen.

##### Diagnose der Lernausgangslage

Bei der Planung und Durchführung des Biologieunterrichts sollten Schülervorstellungen als individuelle Voraussetzungen der Lernenden berücksichtigt werden. Dies gelingt beispielsweise durch eine Diagnose zu Beginn der Stunde oder Einheit und anschließende Reflexion der eigenen Vorstellungen, nachdem ein Thema erarbeitet wurde (Gropengießer et al., 2013). In der vorliegenden Einheit wird über mehrere Doppelstunden hinweg das Phänomen welcher Pflanzen (vgl. Wessel & Hammann, 2012) erarbeitet. Daher genügt es, wenn Lernende zu Beginn der Einheit einmal ihre Vorstellungen äußern. Methodisch lässt sich die Diagnose durch die Einführung der Zoom Map sichtbar machen. Indem bereits die Lernausgangslage als Zoom Map dargestellt wird, kann im Verlauf der Einheit immer wieder darauf zurückgegriffen und die eigenen Erklärungen ergänzt oder verändert werden. Die Umsetzung wird in Kapitel 3.2 erläutert.

##### Strukturierung der Einheit nach den Prinzipien des Jojo-Lernens

Den Leitlinien des Jojo-Lernens entsprechend beginnt die Einheit auf der Ebene des Phänomens (s. Kapitel 2.2.1). Die erste Stunde dient dabei einerseits zur Diagnose der Lernausgangslage und andererseits als Einführung der Zoom Map. In den Folgestunden erarbeiten sich die Lernenden immer niedrigere Organisationsebenen. Nach jeder Stunde wird die Zoom Map überarbeitet und neue Erkenntnisse werden ergänzt. In der letzten Stunde wird das Phänomen abschließend erklärt und das Vorgehen reflektiert (s. Tab. 2).

Tabelle 2: Verlauf der Unterrichtseinheit

Stunden	Thema und Leitfrage	Kurzbeschreibung	Lernziele (Niedersächsisches Kultusministerium, 2017)
1/2	<b>Einstieg und Diagnose</b>  Warum hängen die Blätter der Pflanze? (Ebene des Organismus)	Die SuS stellen ihre Erklärung des Phänomens als Zoom Map dar.  siehe Verlaufsplan (Tab. 3)	Die SuS strukturieren komplexe biologische Zusammenhänge KK 2.3.



Stunden	Thema und Leitfrage	Kurzbeschreibung	Lernziele (Niedersächsisches Kultusministerium, 2017)
3/4	<b>Salat Experiment</b> Warum wird Salat mit Dressing welk? (Ebene des Organs)	Die SuS planen Versuche mit Salat und Zutaten für Dressing und führen diese durch.	Die SuS wenden den naturwissenschaftlichen Gang der Erkenntnisgewinnung auf neue Probleme an. EG 4.1
5/6	<b>Zwiebelzelle</b> Warum wird Salat mit Dressing welk? (Ebene der Gewebe und Zellen)	Die SuS führen Versuche zu Plasmolyse und Deplasmolyse von Zwiebelzellen unter dem Mikroskop durch und beschreiben die Veränderungen der Vakuole.	Die SuS mikroskopieren und skizzieren biologische Präparate (Plasmolyse) (EG. 2.2)
7/8	<b>Aufbau der Biomembran 1</b> Woraus besteht die Biomembran? (Ebene der Moleküle)	Die SuS führen Versuche mit Rotkohl durch und begründen anhand des Experiments, aus welchen Grundbausteinen Biomembranen bestehen.	Die SuS erläutern Struktur-Funktionsbeziehungen auf der Ebene von Molekülen modellhaft (Phospholipide). FW 1.2
9/10	<b>Aufbau der Biomembran 2</b> Wie ist die Biomembran aufgebaut? (Ebene der Moleküle)	Die SuS analysieren die Befunde von Gorter und Grendel und zeichnen eine Zellmembran, die zu den Versuchsergebnissen passt.	Die SuS erläutern modellhaft den Aufbau von Biomembranen (Flüssig-Mosaik-Modell). FW 2.2
11/12	<b>Aufbau der Biomembran 3</b> Mit welchen Modellen kann man den Aufbau der Biomembran darstellen? (Ebene der Moleküle)	Die SuS vergleichen Sandwich-Modell und Fluid-Mosaik-Modell und überprüfen diese anhand von empirischen Befunden	Die SuS erläutern biologische Sachverhalte mithilfe von Modellen EG 3.1 Die SuS wenden Modelle an, erweitern sie und beurteilen die Aussagekraft und Gültigkeit (Flüssig-Mosaik-Modell). EG 3.2
13/14	<b>Osmose</b> Wie kommt das Wasser durch die Biomembran? (Ebene der Moleküle)	Die SuS erläutern Osmose als Stoffaustausch durch eine permeable Membran auf Stoffebene und Teilchenebene anhand eines Versuchs und einer Simulation	Die SuS unterscheiden bei der Erläuterung physiologischer Sachverhalte zwischen Stoff- und Teilchenebene (Diffusion, Osmose). KK 2.4 Die SuS erläutern verschiedene Arten von Stofftransport zwischen Kompartimenten (Diffusion, Osmose, aktiver Transport). FW 2.3

### 3.2 Verlauf der ersten Doppelstunde

Die erste Doppelstunde dient der Diagnose, der Einführung der Ebenen sowie der Einführung der Zoom Map.

Als Einstieg wird Abb. 5 gezeigt. Die Abbildung 5 zeigt das Phänomen, das in der folgenden Unterrichtseinheit untersucht werden soll. Zu sehen ist eine Buntnessel mit turgeszenten und welken Blättern. Die Lerngruppe wird aufgefordert, die Abbildung zu beschreiben. Falls die SuS dabei nicht auf die Stellung der Blätter (abgespreizt und hängend) eingehen, wird mit dem Impuls: „Vergleicht die Stellung der Blätter.“, die Aufmerksamkeit fokussiert. Falls die Lernenden äußern, dass es sich um zwei verschiedene Pflanzen handele, erhalten sie die Information durch die Lehrkraft, dass es sich hier um ein und dieselbe Pflanze handelt.

Anhand der Bildbeschreibung sollen die Lernenden eine Forschungsfrage formulieren, zum Beispiel „Warum sehen die Blätter unterschiedlich aus?“.



Abbildung 5: Einstiegsabbildung mit einer Buntnessel im turgeszenten und im welken Zustand.

In der Diagnose 1 sollen die Lernenden ihre Erklärung des Phänomens schriftlich festhalten. Sofern Lernende bereits mit den Methoden des Concept-Mappings oder des Zoom Mappings vertraut sind, kann dieser Zwischenschritt übersprungen werden. Andernfalls ist es sicherlich sinnvoll, dass die Lernenden die Erklärungen zunächst formlos aufschreiben und erst nach der Einführung der Methoden noch einmal in Form einer Zoom Map darstellen. Falls die





Lerngruppe die Diagnose von Lernausgangslagen noch nicht gewohnt ist, sollte die Lehrkraft dieses Vorgehen einordnen: z.B. *„Mich interessiert, wie ihr euch das vorstellt. Es geht hierbei nicht darum, dass ihr das Phänomen schon vollständig erklären könnt.“*

Nach der Diagnose werden in Erarbeitung 1 die Organisationsebenen eingeführt und dabei, falls nötig, die Methode des Concept-Mappings geübt. Dazu erhalten die Lernenden das Arbeitsmaterial ( Organisationsebenen Pflanze). Lernende, die noch nicht mit Concept Maps gearbeitet haben, erhalten zusätzlich eine Anleitung ( Methode: Concept Map).

In einer Zwischensicherung 1 werden einige Concept-Maps beispielhaft vorgestellt. Falls die Methode zum ersten Mal durchgeführt wird, sollte zusätzlich das Vorgehen der Lernenden bei der Erstellung thematisiert werden.

Mit dem neuen Wissen, dass biologische Phänomene anhand der Organisationsebenen strukturiert werden können, überarbeiten die Lernenden in Diagnose 2 ihr Erklärung. Dazu tragen sie ihre schriftliche Erklärung in Arbeitsmaterial ( Zoom Map) ein, nachdem sie die Anleitung ( Methode Zoom Map) gelesen haben. Um Lernende nicht zu demotivieren, sollte auch an dieser Stelle wieder auf die Diagnosefunktion hingewiesen werden: *„Es ist weiterhin kein Problem, wenn die Erklärung für euch noch nicht zufriedenstellend ist. Wir werden das Phänomen weiter untersuchen und die Erklärung immer weiter ausbauen.“*

Da die Zoom Map im weiteren Verlauf immer wieder erweitert und überarbeitet werden soll, sollte ein Format gewählt werden, welches Veränderungen erlaubt. Die Lernenden könnten dazu beispielsweise mit Bleistift arbeiten. Alternativ könnte die Zoom Map laminiert werden und von den Lernenden mit Folienstiften beschrieben werden. In Tabletklassen könnten die Lernenden das Arbeitsmaterial digital erhalten und so später noch Änderungen vornehmen.

Bei der Zwischensicherung 2 liegt der Fokus vor allem auf der Umsetzung der Methode. Im erstmaligen Umgang mit dem Lernwerkzeug Zoom Map sind einige Schwierigkeiten zu erwarten. Lernende ordnen eventuell. nur Strukturen den Ebenen zu, ohne sie durch Relationen zu vernetzen oder beschriften nicht. In solchen Fällen sollte nachgefragt werden, ob sie die Vernetzung vergessen haben, oder nicht wussten, wie die Strukturen zusammenhängen. Letzteres kann als Anknüpfungspunkt für weitere Erarbeitungen genutzt werden: *„Hier haben wir also einen Aspekt gefunden, den wir in kommenden Stunden noch weiter untersuchen müssen.“*

In der zweiten Stunde kann mit der Planung der weiteren Erarbeitung begonnen werden. Lernende sollen dabei eigene Ideen äußern, wie die Fragestellung weiter untersucht werden kann. Zu erwarten ist, dass die Lernenden Experimente oder die Untersuchung der Pflanze fordern. Sofern umsetzbar, kann die weitere Abfolge auf die Aspekte angepasst werden, die die Lernenden hier nennen. Beispielsweise könnte das Experiment aus der folgenden




www.bu-praktisch.de



Doppelstunde vorgezogen werden. Falls die Abfolge beibehalten wird, erhalten die Lernenden Material, um die Pflanze auf allen (relevanten) Ebenen zu untersuchen.

Die Erarbeitung 2 erfolgt anhand des Arbeitsmaterials (  Grafischer Zoom Buntnessel,

















 Fotografischer Zoom Buntnessel). Die Materialien stellen das Phänomen auf den Ebenen des Organismus bis zu Zellen bzw. Zellorganellen dar. Sie ermöglichen es den Lernenden einen Zusammenhang zwischen der vollen oder mäßig gefüllten Vakuole auf Ebene der Zellorganellen und der Festigkeit der Blätter auf der Ebene der Organe herzustellen. Diese Erkenntnisse sollen in der Zoom Map festgehalten werden.

In der Sicherung 3 werden die Erkenntnisse anhand des Materials und der Zoom Map präsentiert. Dabei können Anschlussfragen aufgestellt werden, zum Beispiel, welchen Weg das Wasser durch die Pflanze nimmt.
















### 3.3 Verlaufsplan

Tabelle 3: Verlaufsplan der ersten Doppelstunde.

Zeit [min]	Lehrer*innenverhalten  und antizipiertes Schüler*innenverhalten 
<b>Einstieg</b>	
	 Beschreibt die Abbildung (Abb. 4)
5	 Eine Pflanze ist welk/krank/schlaff die andere Pflanze normal/gesund/straff
	 Formuliert eine Fragestellung für die Stunde
	 Warum sind die Blätter schlaff / Warum sehen die Blätter unterschiedlich aus?
<b>Diagnose 1</b>	
5	 Mich interessiert, wie ihr euch das vorstellt. <u>Erklärt schriftlich, warum die Blätter rechts herabhängen und links stabil abstehen.</u> Diese Erklärung nutzen wir später nochmal.
<b>Erarbeitung 1</b>	
	 Um die Fragestellung zu beantworten, sollten wir uns erstmal damit beschäftigen, welche Organisationsebenen für unser Phänomen relevant sind. <u>Informiert euch anhand des AB und erstellt eine Concept Map zu den Organisationsebenen</u>
10	 <b>Organisationsebenen Pflanze</b>
	 <b>Alternativer Lernweg:</b> SuS erhalten zusätzlich eine Anleitung (+ 10 min)
	 <b>Methode: Concept Map</b>
<b>Zwischensicherung 1</b>	
5	 Stellt eure Concept Map vor.
	 <b>Alternativer Lernweg:</b> Wie seid ihr vorgegangen, um diese Concept Map zu erstellen?
<b>Diagnose 2</b>	
	 Jetzt wisst ihr, dass man biologische Phänomene häufig auf mehreren Ebenen erklären muss. Da das Schüler*innen häufig schwerfällt, wurde die Zoom Map als Unterstützung entwickelt. <u>Erklärt, warum die Blätter rechts herabhängen und links stabil abstehen. Tragt eure bisherige Erklärung in die Zoom Map ein.</u>
10	 <b>Methode Zoom Map</b>
	 <b>Zoom Map</b>
10	<b>Zwischensicherung 2</b>



Zeit [min]	Lehrer*innenverhalten  und antizipiertes Schüler*innenverhalten 
	<p> <u>Beschreibt wie ihr vorgegangen seid, um eure Zoom Map zu erstellen.</u></p> <p>Auf typische Fehler hinweisen (fehlende Verknüpfungen, unbeschriftete Relationen) -&gt; Schüler zum aktiven Umgang mit fehlendem Wissen anleiten, z.B. Fragezeichen an Relationen schreiben. Offene Fragen markieren.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Planung</b></p> <p> <u>Beschreibt, wie wir vorgehen müssten, um das Phänomen weiter zu betrachten.</u></p> <p>5  <i>Pflanze auf allen Organisationsebenen betrachten. Experimente durchführen, um herauszufinden, woran es liegt.</i></p> <p>ggf. Kann das Experiment vorgezogen werden  <b>Alternative: Experiment</b></p>
	<p style="text-align: center;"><b>Erarbeitung 2</b></p> <p>15  <u>Untersucht die Pflanzen auf allen Organisationsebenen. Erweitert eure Zoom Map um die neuen Erkenntnisse.</u></p> <p> <b>Grafischer Zoom Buntnessel</b></p> <p> <b>Fotografischer Zoom Buntnessel</b></p>
	<p style="text-align: center;"><b>Sicherung 3</b></p> <p>10  Eine Gruppe präsentiert ihr Ergebnis, die anderen ergänzen / verbessern.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Reflexion</b></p> <p>10  <u>Stellt anhand eurer Zoom Map dar, was ihr bereits gelernt habt und welche Fragen noch offen bleiben.</u></p>
	<p style="text-align: center;">Ende der Unterrichtsstunde</p>
	<p style="text-align: center;"> <b>Alternative: Experiment</b></p> <p>10  <u>Da wir nicht genügend Blätter der Buntnessel haben, nutzen wir als Modellorganismus Salatblätter. <b>Plant ein Experiment, um herauszufinden, unter welchen Bedingungen Salatblätter weich werden.</b></u></p>
	<p style="text-align: center;"><b>Sicherung 4</b></p> <p>10 Eine Gruppe präsentiert ihre Planung, die anderen ergänzen / verbessern.</p>



## 4 Literaturverzeichnis

- Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990, May). Student Conceptions of Natural-Selection and Its Role in Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 415-427. <https://doi.org/DOI.10.1002/tea.3660270503>
- Cañas, A. J., & Novak, J. D. (2006). Concept maps: theory, methodology, technology. International Conference of Concept Mapping, San José, Costa Rica.
- Düsing, K., Asshoff, R., & Hammann, M. (2018). 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. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1447002>
- Gropengießer, H., Harms, U., & Kattmann, U. (Eds.). (2013). *Fachdidaktik Biologie*. Aulis Verlag.
- Gropengießer, H., & Marohn, A. (2018). Schülervorstellungen und Conceptual Change. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Eds.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 49-67). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_4)
- Hammann, M. (2019). Organisationsebenen biologischer Systeme unterscheiden und vernetzen: Empirische Befunde und Empfehlungen für die Praxis. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Eds.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (pp. 1-19). Springer Spektrum.
- Jördens, J., Asshoff, R., Kullmann, H., & Hammann, M. (2016). Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution. *International Journal of Science Education*, 38(6), 960-992. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1174790>
- Knippels, M. C. P. J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education - The yoyo teaching and learning strategy* (Vol. 43). CD-β Press.
- Niedersächsisches Kultusministerium. (2017). Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe.
- Plotz, T. (2019). Are Concept Maps a Valid Measurement Tool for Conceptual Learning? A Cross-case Study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(1). <https://doi.org/10.29333/ejmste/110174>
- Schneeweiß, N., & Gropengießer, H. (2019). Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Education Sciences*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/educsci9030207>
- Schneeweiß, N., & Gropengießer, H. (2021). The Zoom Map: A New Graphic Organizer to Guide Student's Explanations Across the Levels of Biological Organization. *Bioscene*, 47(1), 3-14.
- Torkar, G., Veldin, M., Glažar, S. A., & Podlesek, A. (2018). Why do Plants Wilt? Investigating Students' Understanding of Water Balance in Plants with External Representations at the Macroscopic and



www.bu-praktisch.de



Submicroscopic Levels. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2265-2276. <https://doi.org/10.29333/ejmste/87119>

Wessel, L., & Hammann, M. (2012). Warum welken Pflanzen? *Unterricht Biologie*, 35(380), 16-20.

## Einstiegsabbildung



Abbildung 1: Einstiegsabbildung - Eine Buntnessel in zwei verschiedenen Zuständen.

## Methode: Concept Map

Concept Maps dienen der Darstellung und Organisation von Wissensstrukturen (siehe Abb. 5)

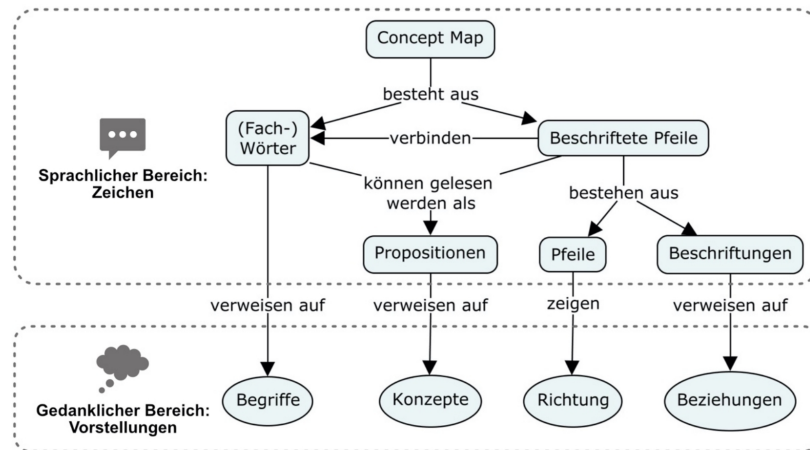


Abbildung 2: Concept Map über Concept Maps.

### Vorgehen zur Erstellung einer Concept Map

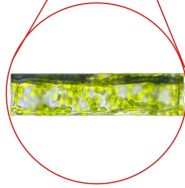
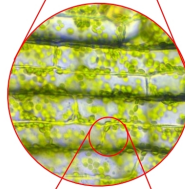
1. Fragestellung oder Thema der Concept Map formulieren
2. Fachwörter sammeln, die zur Beantwortung der Fragestellung benötigt werden
3. Fachwörter anordnen: Solche, die zusammengehören, werden nahe zueinander geschrieben
4. Verbindungen einzeichnen und beschriften



## Die Organisationsebenen einer Pflanze

Biologische Phänomene können auf verschiedenen Organisationsebenen (= Zoomstufen) betrachtet werden. Bei wissenschaftlichen Erklärungen sollte die Organisationsebene, auf der erklärt wird, beachtet werden. Fast immer erstrecken sich biologische Erklärungen über mehrere Organisationsebenen hinweg, z.B. von der Ebene der Zellen bis zur Ebene des Organismus.

### Fotografische Darstellung



Über und unter den abgebildeten Ebenen können noch weitere folgen, z.B. die Ebene der Population oder die Ebene der Moleküle.

**Organismus**  
besteht aus Organen

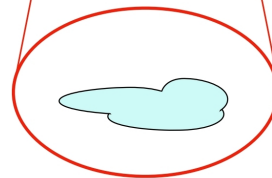
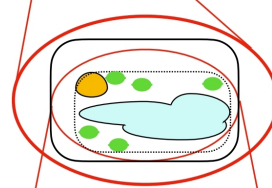
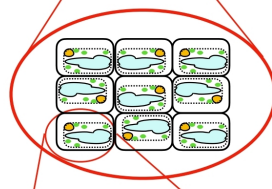
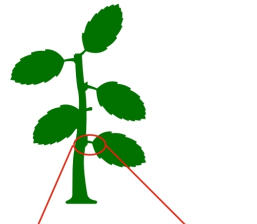
**Organ**  
besteht aus Geweben

**Gewebe**  
besteht aus  
gleichartigen Zellen

**Zelle**  
besteht aus  
Zellorganellen

**Zellorganell**  
besteht aus Molekülen

### Grafische Darstellung

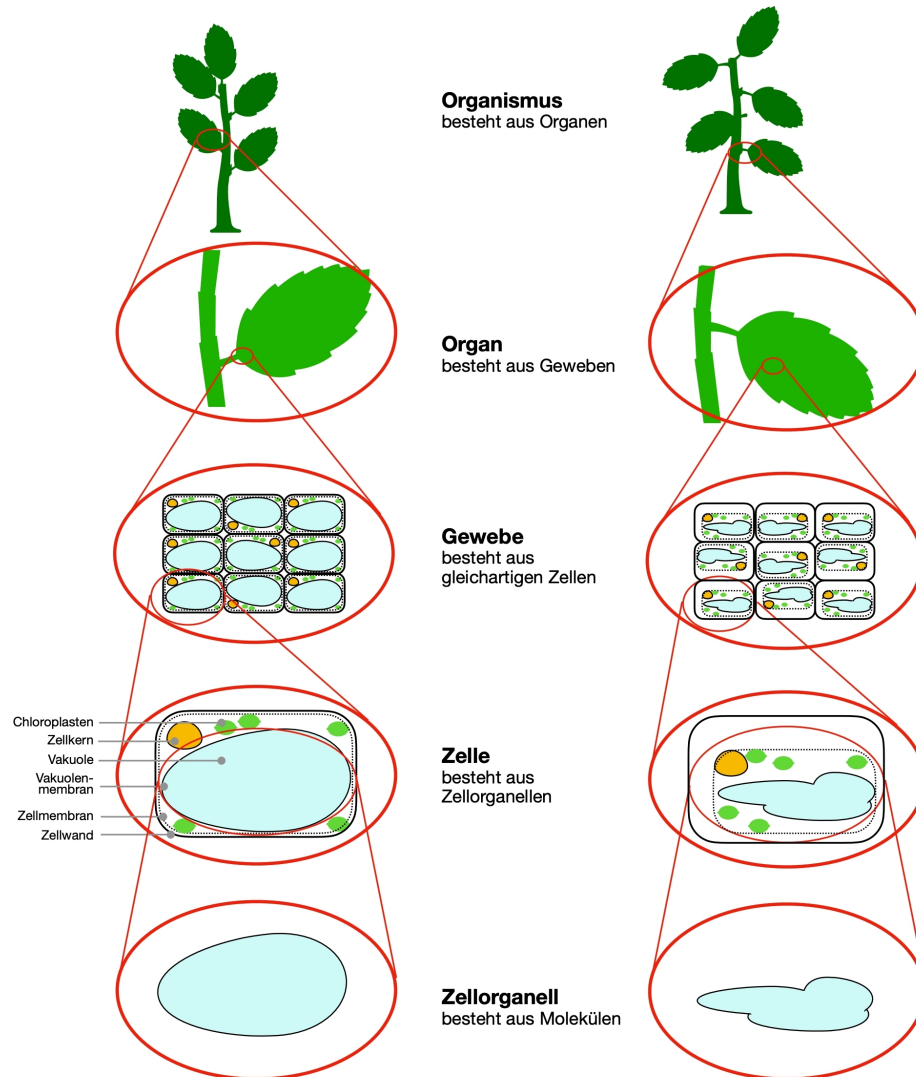




## Grafischer Zoom in die Buntnessel

Pflanze mit \_\_\_\_\_ Blättern

Pflanze mit \_\_\_\_\_ Blättern





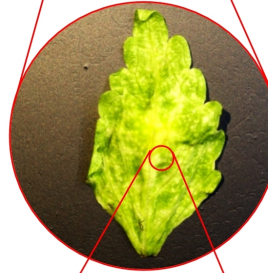
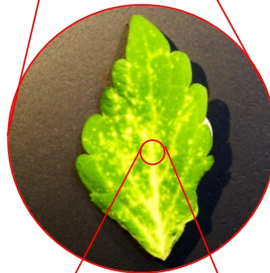
## Fotografischer Zoom in die Buntnessel

Pflanze mit \_\_\_\_\_ Blättern

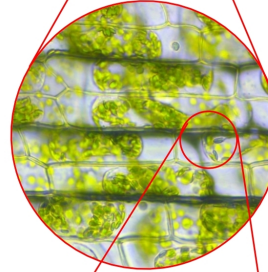
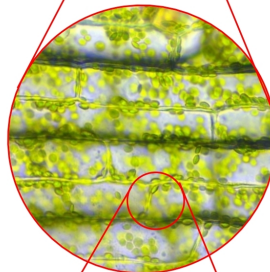
Pflanze mit \_\_\_\_\_ Blättern



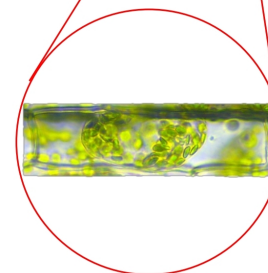
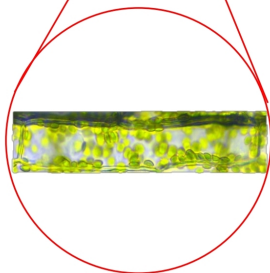
Organismus



Organ



Gewebe



Zelle

## Methode: Zoom Map

Eine Zoom Map ist eine besondere Darstellungsform der Concept Map, bei der die (Organisations-) Ebenen unterschieden werden.

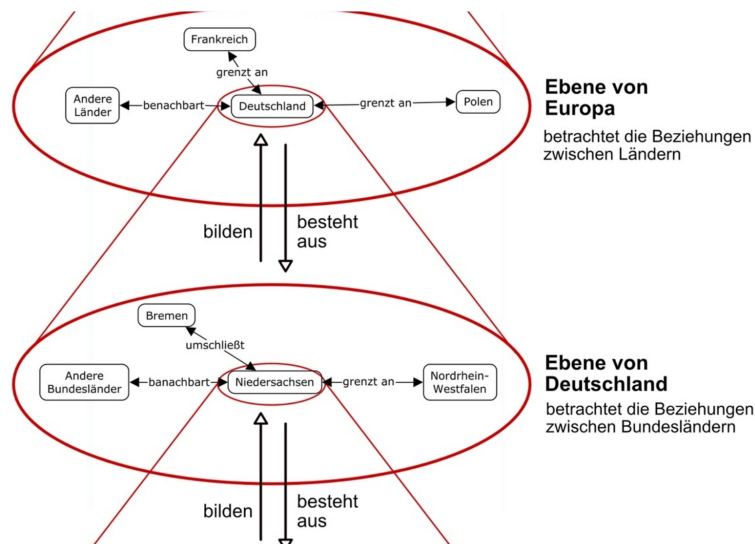


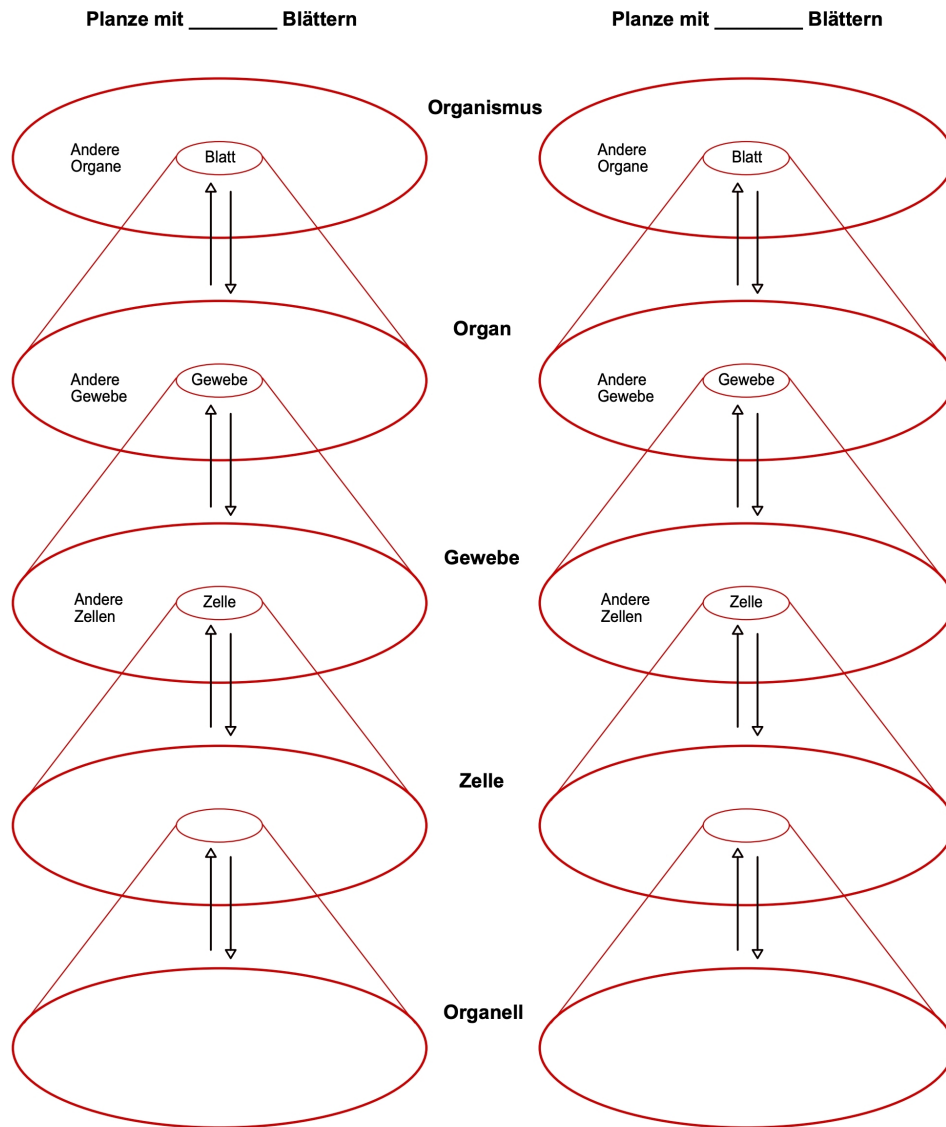
Abbildung 3: Beispiel Zoom Map für ein geografisches Thema

### Vorgehen zur Erstellung einer Zoom Map

- 1. Strukturen verorten:** Überlege dir, welche Strukturen auf der jeweiligen Ebene für das Phänomen entscheidend sind. Notiere diese in der Abbildung. Beispiel: Andere Länder, Frankreich, etc.
- 2. Strukturen innerhalb der Ebenen vernetzen:** Welche Beziehungen haben die einzelnen Begriffe untereinander? Kennzeichne diese durch beschriftete Pfeile. Beispiel: Niedersachsen ----umschließt----> Bremen
- 3. Strukturen zwischen den Ebenen vernetzen:** Überlege dir, in welcher Beziehung die zentralen Begriffe der Ebenen zueinander stehen. Beschrifte die vertikalen Pfeile entsprechend. Beispiel: Deutschland ---- besteht aus ----> Bremen, Niedersachsen etc.



### Vorlage: Zoom Map





## 10.7 Lebenslauf und Publikationsliste

### Box 12: Angaben zur Person

Name	Niklas Schneeweiß
Geburtstag	16.05.1992
Geburtsort	Coburg
Staatsangehörigkeit	Deutsch

### Box 13: Bildungsgang


<b>Promotion</b> – Dr. rer. nat. Leibniz Universität Hannover Fachgebiet Didaktik der Biologie		
Thesis:	Entwicklung und Evaluation eines grafischen Lernwerkzeugs zum Verstehen biologischer Phänomene durch Einbindung biologischer Organisationsebenen.	Hannover Seit 2017
Betreuer:	Prof. Harald Gropengießer	
<b>Referendariat</b> – Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien Biologie und Chemie Studienseminar Stadthagen		
		Stadthagen 2020-2022
<b>Master Lehramt</b> – Master of Education (M. Ed.) Biologie und Chemie Leibniz Universität Hannover		
Masterarbeit:	Wie verstehen Schülerinnen und Schüler den Prozess der Anpassung? - Erstellung und Evaluation von Vermittlungsversuchen.	Hannover 2014-2017
Betreuerin:	Dr. Sarah Dannemann	
<b>Fächerübergreifender Bachelor</b> – Bachelor of Science (B. Sc.) Biologie und Chemie Leibniz Universität Hannover		
		Hannover 2011-2014
<b>Abitur</b> - Allgemeine Hochschulreife Gymnasium Ernestinum Coburg		
		Coburg 05/2011


### Box 14: Beruflicher Werdegang

<b>Lehrkraft für Naturwissenschaften</b> Integrierte Gesamtschule List	Hannover seit 02/2022
<b>Lehrkraft im Vorbereitungsdienst</b> Hannah-Arendt-Gymnasium Barsinghausen	Barsinghausen 2020-2022
<b>Wissenschaftlicher Mitarbeiter</b> Institut für Didaktik der Naturwissenschaften	Hannover 2017-2020




## Box 15: Artikel mit Peer Review

**Schneeweiß, N.** & Gropengießer, H. (im Druck). Fostering explanations across levels of organisation with the Zoom Map –the case of upright and wilted leaves. *Journal of Biological Education*. 

**Schneeweiß, N.** & Gropenießer, H. (2022). Komplexe biologische Phänomene durch Zoomen und Jojo-Lernen auf allen Ebenen erklären – Darstellung einer exemplarischen Unterrichtseinheit mit der Zoom Map. *BU-Praktisch*. 5(2). 1. 


Buchholz, J., Jesgarz, M. **Schneeweiß, N.**, Sieve, B (2022). Mit digitalen Lernumgebungen das selbstgesteuerte Lernen chemischer Sachverhalte unterstützen. *ChemKon*. 29(S1). 319-324. 


**Schneeweiß, N.**, Jesgarz, M., Buchholz, J., Sieve, B. (2022). Digitale Lernumgebungen lernförderlich gestalten. *MNU*. 22(4), 314 – 321. 


**Schneeweiß, N.** & Gropengießer, H. (2021). The Zoom Map: A New Graphic Organizer to Guide Students' Explanations Across the Levels of Biological Organization. *Bioscene*. 47(1). 3-14. 


**Schneeweiß, N.** & Gropengießer, H. (2019). Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Education Sciences* 9(3). 207. 


## Box 16: Buchkapitel und andere Publikationen

**Schneeweiß, N.** & Gropengießer, H. (2022). The Zoom Map—Explaining Complex Biological Phenomena by Drawing Connections between and in Levels of Organization. In: Knippels, M. C. & Assaraff, O. B. Z. (Hrsg.). *Fostering Understanding of Complex Systems in Biology Education*. Springer. 123-149. 


**Schneeweiß, N.** & Buchholz, J. (2022). Mit einem Mystery spielerisch zum Bau der Daniell-Zelle. *MINT Zirkel* 2022 (1). 7. 

Buchholz, J., Jesgarz, M. **Schneeweiß, N.**, Sieve, B. (2022). Genial einfach?! – Digitale Lernumgebungen mit der App genial.ly gestalten. *Unterricht Chemie*. (178). 47-48. 

Buchholz, J. & **Schneeweiß, N.** (2021). Interaktive Präsentationen mit Genial.ly. *excitingedu*. 2021(1). 10-11. 

**Schneeweiß, N.**, Fries, T., Kalifa-Ebert, K., Jenzen, F., Kentsch, A. (2020). NaWi-Simulationen: Phet-Colorado. On – Lernen in der digitalen Welt. (3). 36. 

**Schneeweiß, N.**, Sieve, B., Schanze, S. (2020). Digitalisierung begleiten und gestalten. On – Lernen in der digitalen Welt. (3). 22-23. 

Schanze, S., **Schneeweiß, N.**, Sieve, B. (2020). Kompetenzen zur digitalen Messwerterfassung fördern. In: *Digitale Basiskonzepte*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung. 54-57. 

**Schneeweiß, N.**, Schanze, S. (2020). Wissen organisieren und visualisieren – Erstellung von Concept Maps mit CmapTools. *Unterricht Chemie*. (177/178). 92-95. 



**Schneeweiß, N.,** Sieve, B., Ulrich, N. (2020). Experimentieren mit digitalen Werkzeugen. Unterricht Chemie. (177/178). S. 10-11. ✓

**Schneeweiß, N.,** Sieve, B. (2020). Individualisiertes Lernen. Unterricht Chemie. (177/178). S. 70-71 ✓


**Schneeweiß, N.,** Sieve, B., Ulrich, N. (2020). Chemieunterricht digital unterstützen. Unterricht Chemie. (177/178). S. 4-6. ✓


**Schneeweiß, N.,** Sieve, B., Ulrich, N. (Hrsg.) (2020). Unterricht digital unterstützen. Unterricht Chemie. (177/178). ✓


Scheibe, M. & **Schneeweiß, N.** (2019). Alle machen mit - Voting-Tools im Unterricht. c't Magazin für Computertechnik. 2019(24). 154-157. ✓


Walkowiak, M., **Schneeweiß, N.,** Nehring, A. & Schanze, S. (2018). Potenziale von Mehrmesswerterfassungssystemen im Chemieunterricht. Tagungsbericht. „Sensorgestütztes Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht“ 27. 03.2018. München, MNU: 55-66 ✓

### Box 17: Konferenzbeiträge

**Schneeweiß, N. &** Gropengießer, H. (2019, September). Zoomen: Entwicklung und Evaluation von Lernangeboten für vernetztes Denken. Vortrag im Rahmen der Internationalen Jahrestagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB im VBio). Wien. 

**Schneeweiß, N. &** Gropengießer, H. (2019, August). Organising levels of organisation for science education: a critical review of literature. Vortrag im Rahmen der 13th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA). Bologna. 

**Schneeweiß, N. &** Gropengießer, H. (2019, März). Zoomen und vernetzen: Entwicklung eines neuen Werkzeugs für vertikale und horizontale Kohärenz. Posterpräsentation im Rahmen der FdDB Frühjahrsschule. Bonn. 

**Schneeweiß, N. &** Gropengießer, H. (2019, März). Phänomenen auf den Grund gehen durch Zoomen: Lernmöglichkeiten und -schwierigkeiten von Interventionen mit biologischen Betrachtungsebenen. Posterpräsentation im Rahmen der Konferenz Biologiedidaktische Vorstellungsforschung: Zukunftsweisende Praxis in Berlin. 

**Schneeweiß, N. &** Gropengießer, H. (2018, Februar). Betrachtungsebenen: Lernmöglichkeiten und -schwierigkeiten. Posterpräsentation im Rahmen der FdDB Frühjahrsschule. Köln. 