



Beiträge zur Schulentwicklung | PRAXIS

Georg Trendel, Joachim Roß (Hrsg.)

# **SINUS.NRW: Verständnis fördern – Lernprozesse gestalten**

Mathematik und Naturwissenschaften  
weiterdenken

# **Beiträge zur Schulentwicklung | PRAXIS**

herausgegeben von  
der Qualitäts- und UnterstützungsAgentur –  
Landesinstitut für Schule des  
Landes Nordrhein-Westfalen  
(QUA-LiS NRW)

Georg Trendel, Joachim Roß (Hrsg.)

**SINUS.NRW: Verständnis fördern –  
Lernprozesse gestalten**

**Mathematik und Naturwissenschaften  
weiterdenken**



Waxmann 2018  
Münster • New York

**Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

**Beiträge zur Schulentwicklung | PRAXIS**

herausgegeben von der Qualitäts- und UnterstützungsAgentur –  
Landesinstitut für Schule des Landes Nordrhein-Westfalen  
(QUA-LiS NRW)

Print-ISBN 978-3-8309-3862-0  
E-Book-ISBN 978-3-8309-8862-5

© Waxmann Verlag GmbH, Münster 2018  
[www.waxmann.com](http://www.waxmann.com)  
[info@waxmann.com](mailto:info@waxmann.com)

Redaktion QUA-LiS: Hermann Meuser, Peter Dobbstein,  
Bernd Groot-Wilken und Dr. Veronika Manitius  
Umschlaggestaltung: Pleßmann Design, Ascheberg  
Titelbild: © Steve Debenport – iStockphoto.com  
Satz: Stoddart Satz- und Layoutservice, Münster  
Druck: Mediaprint, Paderborn

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier,  
säurefrei gemäß ISO 9706

Printed in Germany  
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.  
Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des  
Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung  
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	7
<i>Joachim Roß und Georg Trendel</i>	
<b>Einleitung</b> .....	9
Literatur .....	11
<i>Annette Isselbacher-Giese, Cornelia Witzmann, Charlotte Königs und Natascha Besuch</i>	
<b>Sprachsensibel werden, sprachbildend unterrichten – Unterricht anders denken Sprachförderung im Mathematikunterricht</b> .....	13
1. Projektbeschreibung und Zielsetzung .....	13
2. Exemplarische Dokumentation von Materialien.....	15
3. Erfahrungsbericht, Rückmeldungen.....	29
4. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Perspektiven .....	30
Literatur .....	30
Projektgruppe.....	31
<i>Dirk Bresinsky, Jeanette Fuhrmann, Klara Kolcov und Annett Veit</i>	
<b>Alltag in Grundkursen in der SI? – Kompetenzerwerb im Fach Mathematik für leistungsschwache Schülerinnen und Schüler</b> .....	33
1. Projektbeschreibung und Zielsetzung .....	34
2. Exemplarische Dokumentation von Materialien.....	35
3. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Perspektiven .....	55
Literatur .....	56
Projektgruppe.....	57
<i>Susann Dreibholz, Ulrich Hoffert und Andreas Büchter</i>	
<b>Unterrichtskonzepte für die gymnasiale Oberstufe – Erprobte Ideen zur Umsetzung des Mathematikernlehrplans in Nordrhein-Westfalen</b> .....	59
1. Projektbeschreibung.....	59
2. Unterrichtssequenzen.....	61
Literatur .....	78
Projektgruppe.....	79
<i>Michael Rüsing</i>	
<b>MAfiSuS – Mathematische Angebote für interessierte Schülerinnen und Schüler</b> .....	81
1. Projektbeschreibung und Zielsetzung .....	81
2. Exemplarische Dokumentation von Materialien.....	84
3. Erfahrungsbericht, Rückmeldungen.....	94
4. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen, Perspektiven .....	95
Literatur .....	96
Projektgruppe.....	97
<i>Stefan Burghardt, Nora Simon und Andreas Pallack</i>	
<b>Mathematikunterricht 4.0</b> .....	99
1. Ausgangslage und Zielsetzungen .....	99
2. Beispiel(e) für einen Mathematikunterricht mit digitalen Medien .....	102
3. Thesen zum Medieneinsatz an unserer Schule .....	106
4. Gelingensbedingungen und mögliche Gefahren des Medieneinsatzes .....	110
5. Fazit.....	113
Literatur .....	114
Projektbeteiligte .....	115

*Georg Trendel und Michael Lübeck*

**Die Entwicklung experimenteller Kompetenzen**

**Konstruktion von Aufgaben zur systematischen Kompetenzentwicklung**

<b>und Kompetenzüberprüfung.....</b>	<b>117</b>
1. Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht .....	117
2. Bildungsziele, Aufgaben und die Entwicklung experimenteller Kompetenzen .....	120
3. Prinzipien und Verfahren der Aufgabenkonstruktion.....	122
4. Beispiele: Entwickelte Aufgaben und ihre Klassifizierung .....	133
5. Gesichtspunkte der Evaluation .....	148
Literatur .....	148

*Monika Dirks und Sandra Engelen*

**Sprachsensibler Biologieunterricht am Gymnasium**

**Hinweise zum systematischen Kompetenzaufbau im**

<b>Bereich Kommunikation.....</b>	<b>151</b>
1. Einleitung.....	151
2. Sprachsensibler Fachunterricht .....	153
3. Schaffung von Grundlagen zur Kooperation mit dem Fach Deutsch und anderen Fächern im Sinne eines sprachsensiblen Fachunterrichts in dem Kompetenzbereich Kommunikation .....	155
4. Arbeit mit dem Planungs- und Analyseraster „Kommunikation“ .....	157
5. Beispiele für einen sprachsensiblen Fachunterricht am Beispiel des Schreibens von linearen Texten .....	160
Literatur .....	168
Anhang .....	170

*Dagmar Friedrichs und Isabel Edeler*

**Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht**

**Eine Unterrichtsreihe zur Entwicklung des Biomembran-Modells**

<b>im historischen Erkenntnisweg.....</b>	<b>175</b>
1. Projektbeschreibung und Zielsetzung .....	175
2. Dokumentation des Reihenkonzepts und exemplarischer Materialien .....	181
3. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Perspektiven .....	191
Literatur .....	192
Projektgruppe.....	192

*Alexander Rother und Maik Walpuski*

**Eine Landkarte des Lernens im Chemieunterricht**

<b>Vernetztes Lernen anlegen und mit Diagnoseaufgaben sichern .....</b>	<b>193</b>
1. Projektbeschreibung und Zielsetzung .....	193
2. Exemplarische Dokumentation von Materialien.....	200
3. Erkenntnisse aus der Arbeit mit der Landkarte des Lernens .....	204
4. Schlussfolgerungen, Diskussion und Perspektiven .....	206
Literatur .....	208
Projektgruppe .....	208

## Vorwort

Die Qualitäts- und UnterstützungsAgentur – Landesinstitut für Schule (QUA-LiS NRW) ist die zentrale Einrichtung für pädagogische Dienstleistungen im Geschäftsbereich des Ministeriums für Schule und Bildung in Nordrhein-Westfalen. Kern der Arbeit ist es, die Schulen und Einrichtungen der gemeinwohlorientierten Weiterbildung des Landes bei der Qualitätssicherung und Qualitätsentwicklung systematisch zu unterstützen. Dies geschieht für die Schulen des Landes u. a. durch die Entwicklung von Kernlehr- und Bildungsplänen, die Bereitstellung von Aufgaben für die zentralen Prüfungen, durch die Qualifizierung und Professionalisierung der Lehrerfortbildung und des Leitungspersonals, aber auch durch die Unterstützung in bildungspolitisch aktuellen Handlungsfeldern wie z. B. der inklusiven Bildung in der Schule, das gemeinsame längere Lernen im Ganztage oder der interkulturellen Schulentwicklung. Bei allen Angeboten ist es der QUA-LiS NRW ein wichtiges Anliegen, den Schulen für die herausfordernden Prozesse der Schul- und Unterrichtsentwicklung die entsprechenden Unterstützungsangebote bereitzustellen.

Einen Beitrag dazu stellt unsere Publikationsreihe „Beiträge zur Schulentwicklung“ dar. Dieses Publikationsformat greift zum einen aktuelle wissenschaftliche, unterrichtsfachliche und fachdidaktische Diskurse auf und stellt diese interessierten Leserinnen und Lesern für die Diskussion zur Verfügung. Zum anderen richtet sich das Publikationsformat unter dem Label „PRAXIS“ gezielt an die schulischen Akteure vor Ort und bietet konkrete Unterstützungsmaterialien für die Nutzung in Schule und Unterricht an.

Mit dem vorliegenden Band werden praxiserprobte Materialien und Ergebnisse vorgestellt, die in der fünften Phase des SINUS-Projekts entwickelt wurden. Die einzelnen Projektbeiträge unterstützen Kolleginnen und Kollegen in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern bei der Planung und Gestaltung eines Unterrichts, der die Heterogenität der Lernenden in den Blick nimmt und individuelle Lernprozesse ermöglicht. Ein besonderer Fokus liegt dabei einerseits auf der gezielten Förderung von Schülerinnen und Schülern, die bisher lediglich Mindestkompetenzen erreichen, andererseits aber auch auf Unterrichtsarrangements, die geeignet sind, die Potenziale leistungsstärkerer Schülerinnen und Schüler besser auszuschöpfen. Die gemeinsame Zielrichtung aller neun Teilprojekte ist ein am Verstehen orientierter differenzierender Unterricht.

Mit den „Beiträgen zur Schulentwicklung PRAXIS“ möchte die QUA-LiS NRW für alle Akteure in Schule und Weiterbildung ein weiteres Unterstützungsangebot für die vielfältigen und herausfordernden Gestaltungsprozesse im Bildungsbereich bereitstellen.

Eugen L. Egyptien  
Direktor der Qualitäts- und UnterstützungsAgentur –  
Landesinstitut für Schule (QUA-LiS NRW)





## Einleitung

Der vorliegende Band berichtet über Ergebnisse der nunmehr abgeschlossenen fünften Phase des SINUS-Projekts in Nordrhein-Westfalen. SINUS ist ein Projekt zur Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts. Es wurde ursprünglich in der Folge unerwarteter Ergebnisse internationaler Vergleichsstudien von der Bund-Länder-Kommission initiiert. Nach der Föderalismusreform im Jahre 2006 und der Auflösung der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK) zum 31.12.2007 wurde SINUS eigenständig im Land Nordrhein-Westfalen fortgeführt. Die jetzt abgeschlossenen Teilprojekte bauen auf bisherigen Erfahrungen und Ergebnissen auf und erweitern den Rahmen konsequent in Richtung einer Entwicklung von verstehensorientierten Unterrichtskonzepten.

Die bundesweiten Bildungsstandards und die aktuellen Kernlehrpläne formulieren anspruchsvolle Ziele, die durch den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht erreicht werden sollen. Damit dieses gelingt, ist ein besonderer Blick auf die individuellen Lernprozesse und Lernergebnisse von Schülerinnen und Schülern erforderlich. Die fünfte SINUS-Phase, über die hier berichtet wird, startete ziemlich genau zehn Jahre nach dem Inkrafttreten der Bildungsstandards in den Fächern Mathematik (KMK, 2004), Biologie, Chemie und Physik (KMK, 2005a, b, c) für den mittleren Schulabschluss und etwa ein Jahr nach der Veröffentlichung der Ergebnisse des vom Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB) durchgeführten Ländervergleichs 2012 (Pant et al., 2013), in dem das Erreichen der Bildungsstandards erstmals überprüft wurde und die Leistungen von Schülerinnen und Schülern auf der Basis eines empirisch abgesicherten Kompetenzstufenmodells eingeordnet wurden.

Ansatzpunkte zur Qualitätsverbesserung bestehen vor allem in zwei Bereichen: Zum einen sollen Schülerinnen und Schüler, die nur Mindestkompetenzen erreichen oder sogar darunterbleiben, intensiver gefördert werden. Zum anderen sollen die Potenziale der leistungsstärkeren Schülerinnen und Schüler besser ausgeschöpft werden. Eine Lösung ist in differenzierenden Unterrichtsangeboten zu sehen, um einerseits ein elementares Verständnis wesentlicher fachlicher Ideen für alle Schülerinnen und Schüler sicherzustellen und andererseits bei besonders leistungsstarken Lernenden ein vertieftes konzeptionelles Verständnis komplexerer mathematisch-naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zu fördern. Die Erkenntnisse aus dem Ländervergleich waren Anlass, vor allem *Verstehensorientierung* als wesentliches Entwicklungsziel für die hier dargestellten SINUS-Vorhaben zu identifizieren und festzulegen.

In den Naturwissenschaften führte die Frage, was Schülerinnen und Schüler verstehen müssen, um grundlegende Einsichten in die Chemie zu erhalten, zum

Teilprojekt *Eine Landkarte des Lernens im Chemieunterricht – Vernetztes Lernen anlegen und mit Diagnoseaufgaben sichern*. Hier werden die wesentlichen Ideen der Chemie schrittweise entwickelt und in eine lernlogische Reihenfolge gebracht. Auf dieser Grundlage lassen sich Lernmaterialien anpassen, die auf dem erreichten (und diagnostizierten) individuellen Wissensstand aufbauen und es jeder Schülerin bzw. jedem Schüler erleichtern, den nächsten Schritt zu gehen.

Zwei weitere Projekte befassten sich mit der Weiterentwicklung des Biologieunterrichts. Der Beitrag *Sprachsensibler Biologieunterricht am Gymnasium – Hinweise zum systematischen Kompetenzaufbau im Bereich Kommunikation* trägt dem zunehmenden Bewusstsein Rechnung, dass Sprachentwicklung nicht nur ein zentrales Ziel schulischer Bildung ist, sondern dass Sprache auch als Mittler für ein fachliches Verständnis eine wesentliche Rolle spielt.

Im zweiten Projekt mit biologischem Schwerpunkt geht es um den Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung*. Dieser Bereich scheint nach den Ergebnissen des Ländervergleichs im Fach Biologie, und zwar nicht nur in NRW, bisher eine untergeordnete Rolle zu spielen. Das Projekt *Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht – Eine Unterrichtsreihe zur Entwicklung des Biomembran-Modells im historischen Erkenntnisweg* zeigt auf, wie Modellbildung in der Biologie im Unterricht der Sekundarstufe II explizit thematisiert werden kann.

Ebenfalls mit der Erkenntnisgewinnung, diesmal jedoch im experimentellen Bereich, befasst sich der Beitrag *Die Entwicklung experimenteller Kompetenzen*. Es handelt sich um einen konzeptionellen Ansatz, der eine zielgerichtete und maßgeschneiderte Entwicklung von Lernaufgaben für den Bereich des Experimentierens beschreibt. Mit diesen Aufgaben kann prozessbasiertes Lernen gefördert werden, einzelne Aspekte des Experimentierens können getrennt voneinander oder in Kombinationen systematisch eingeübt und reflektiert werden.

Für das Fach Mathematik führten die erreichten Kompetenzniveaustufen der Schülerinnen und Schüler auf dem Niveau des Hauptschulabschlusses nach Klasse 10 (HSA) im oben genannten Ländervergleich und die Erfahrungen von Kolleginnen und Kollegen aus den Grundkursen der Haupt- und Gesamtschulen zu dem Projekt *Alltag in Grundkursen in der SI? – Kompetenzerwerb im Fach Mathematik für leistungsschwache Schülerinnen und Schüler*, bei dem der Fokus auf der Entwicklung tragfähiger mathematischer Grundvorstellungen durch alltagsnahe und handelnde Lernerfahrungen am Ende der Sekundarstufe I gelegt wurde.

Mit dem Verstehen von Mathematik durch die Weiterentwicklung eines sprachbildenden Mathematikunterrichts befasste sich das Projekt *Sprachsensibel werden, sprachbildend unterrichten – Unterricht anders denken*. Erarbeitet wurden Grundlagen eines sprachbildenden Mathematikunterrichts durch konkrete Ansätze zur Umsetzung, die im Rahmen selbsterklärender Präsentationen für schulinterne Fortbildungen und ergänzender Materialien für den Unterricht zusammengestellt wurden.

Der zu Beginn des SINUS-Projekts neue, kompetenzorientierte Kernlehrplan für die gymnasiale Oberstufe im Fach Mathematik (MSW, 2014) gab Anlass zu dem Beitrag *Unterrichtskonzepte für die gymnasiale Oberstufe – Erprobte Ideen zur Umsetzung des Mathematikernlehrplans in Nordrhein-Westfalen*. Eine Reihe von Unterrichtsvorhaben in Grund- und Leistungskursen, passend zum Beispiel für einen schulinternen Lehrplan, den die Qualitäts- und Unterstützungsagentur – Landesinstitut für Schule (QUA-LiS NRW) auf ihrer Website bereitstellt<sup>1</sup>, er-

1 <https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-ii/gymnasiale-oberstufe/mathematik/hinweise-und-beispiele/index.html>

gängen das dortige Angebot. Darüber hinaus werden Anregungen gegeben, mit denen die Planung und Durchführung eines am Kompetenzerwerb und am Verstehen orientierten Mathematikunterrichts erleichtert werden können.

Die Frage, wohin sich der Unterricht in den nächsten Jahren entwickelt, wenn digitale Medien verstärkt zur Unterstützung von Lernprozessen eingesetzt werden, war die Ausgangsfrage des Projektes *Mathematikunterricht 4.0*. Auch in diesem Projekt gab der Kernlehrplan der gymnasialen Oberstufe Anlass, den Mathematikunterricht neu zu denken, und erprobte Unterrichtsideen, -materialien und -szenarien zu entwickeln. In dem Artikel werden wesentliche Fragestellungen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht auch aus Sicht von Unterrichtsorganisation und Unterrichtsentwicklung beleuchtet und durch ein reiches Angebot auf der Webseite ergänzt.

Die Förderung der Leistungsspitzen war, resultierend aus den Ergebnissen des IQB, ein Auftrag, sich erneut dem Projekt *MAfiSuS – Mathematische Angebote für interessierte Schülerinnen und Schüler* zu widmen, bei dem mathematisch-logische Projekte und Exkurse insbesondere zur Gestaltung einer regelmäßigen Arbeitsgemeinschaft an Schulen weiterentwickelt wurden. In dem Beitrag wird ein Einblick in ausgewähltes Material gewährt, das lediglich einen sehr kleinen Teil des auf der Homepage des SINUS-Projektes hinterlegten Angebots darstellt.

SINUS.NRW wird derzeit in einer sechsten Phase mit neuen Projekten fortgesetzt.

## Literatur

- KMK = Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2004). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*; [Beschluss vom 4.12.2003]. Neuwied: Luchterhand. Retrieved from [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2003/2003\\_12\\_04-Bildungsstandards-Mathe-Mittleren-SA.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2003/2003_12_04-Bildungsstandards-Mathe-Mittleren-SA.pdf)
- KMK = Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*; [Beschluss vom 16.12.2004]. *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz*. München, Neuwied: Luchterhand.
- KMK = Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*; [Beschluss vom 16.12.2004]. München: Luchterhand in Wolters Kluwer Deutschland.
- KMK = Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*; [Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004]. München: Luchterhand in Wolters Kluwer Deutschland.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium, Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen* (1. Aufl.). *Die Schule in Nordrhein-Westfalen: Nr. 4720*. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Pant, H. A., Stanat, P., Schroeders, U., Roppelt, A., Siegle, T. & Pohlmann, C. (Hrsg.) (2013). *IQB-Ländervergleich 2012: Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I*. Münster: Waxmann.



Annette Isselbacher-Giese, Cornelia Witzmann, Charlotte Königs  
und Natascha Besuch

## **Sprachsensibel werden, sprachbildend unterrichten – Unterricht anders denken**

### **Sprachförderung im Mathematikunterricht**

Im Projekt zur Sprachförderung im Mathematikunterricht arbeiteten Kolleginnen und Kollegen von Hauptschulen, Realschulen, Gesamtschulen und Gymnasien gemeinsam an der Entwicklung eines sprachbildenden Unterrichts im Fach Mathematik. Es erfolgte ein fachspezifisches pädagogisches Coaching der Lehrkräfte zur Entwicklung handlungsnaher, fachdidaktischer und fachspezifischer Kompetenzen zur Umsetzung eines sprachsensiblen Mathematikunterrichts.

Entstanden sind zwei Kategorien von Produkten:

- Fortbildungsmaterialien zum Einsatz in Fachkonferenzen oder weiteren professionellen Lerngruppen zur sprachlichen Qualifizierung von Mathematiklehrkräften auf fachdidaktischer Grundlage
- Methoden- und Materialpool zur Gestaltung eines sprachbildenden Unterrichts im Fach Mathematik

## **1. Projektbeschreibung und Zielsetzung**

### **Motivation für das Projekt und Einordnung in übergeordnete Zusammenhänge und Hintergründe**

Sprachliches Lernen und fachliches Lernen sind eng miteinander verzahnt. Die grundlegenden mathematischen Ideen und Konzepte sind auch immer an ihre spezifische sprachliche Darstellung gebunden. So finden wir schon in den Lehrbüchern der Grundschule mathematikspezifische Formulierungen wie „Berechne den Preis für *je ein kg je Apfelsorte*.“ Heute ist es schon fast eine Selbstverständlichkeit, solche sprachlichen Besonderheiten auch im Mathematikunterricht zu thematisieren. Der Deutschunterricht kann das nicht leisten und auch in unserer Alltagssprache finden wir solche Formulierungen nicht, da sie einer besonderen Anforderung der Mathematik geschuldet sind. In solchen Formulierungen verbirgt sich der Anspruch, Sachsituationen eindeutig und vollständig zu formulieren. Im Alltag ist das selten in dieser Form notwendig. Es versteht sich von selbst, dass, je weiter die mathematischen Kompetenzen entwickelt werden, auch die sprachlichen Anforderungen weiter wachsen: „Eine Funktion *ordnet der Zeit* in Sekunden (s) *die Geschwindigkeit* eines Pfeils in Meter pro Sekunde (m/s) zu.“

Die Bedeutung der Sprache im Mathematikunterricht hat sich in vielen Studien (PISA: Baumert et al., 2004; Studie der Universitäten Dortmund und Duisburg-Essen: Renk, Prediger, Büchter, Benholz & Gürsoy, 2013), aber auch in VERA und in Zentralen Prüfungen gezeigt. Die Entwicklung mathematischer Kompetenzen ist nicht zu trennen von der Entwicklung der notwendigen fachspe-

zifischen Sprache, und damit zeigen Lernende, die diese Sprache nicht sicher beherrschen, erwartungsgemäß auch deutlich schlechtere Leistungen in Prüfungen.

### **Beschreibung von Grundprinzipien der Umsetzung, Regeln, Strukturen und Vorgehensweisen**

Für die Lehrerinnen und Lehrer ist der Umgang mit der mathematischen Sprache aufgrund ihrer Ausbildung und ihres Berufes Alltag. Die sprachlichen Besonderheiten fallen ihnen kaum auf, Zusammenhänge zwischen sprachlicher Realisierung und mathematischen Konzepten werden übersehen. Somit ist ein Schwerpunkt der Arbeit im Projekt, die Lehrkräfte für diese Zusammenhänge zu sensibilisieren. Das bedeutet, ihnen zu vermitteln, dass die leistungsstarken Texte der Mathematik über ein fachspezifisches Begriffssystem und besondere Sprachverwendungsmuster verfügen. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an sprachliche Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern.

#### **Qualifizierung und Professionalisierung von Lehrkräften**

Aus dieser Arbeit sind Materialien entstanden, die in Fachkonferenzen zur sprachlichen Qualifizierung und Professionalisierung von Lehrkräften im Rahmen von Vorträgen und Workshops verwendet werden können. Die Präsentationen und Arbeitsanregungen berücksichtigen aktuelle fachdidaktische Erkenntnisse und dienen professionellen Lerngruppen

- zur Unterscheidung der Anforderungen von Alltagssprache in Abgrenzung zur Fachsprache,
- zur Erarbeitung eines Grundlagenwissens über die Besonderheiten der Sprache des Mathematikunterrichts,
- zur Information über die häufigsten und grundlegenden mathematischen Sprachverwendungsmuster,
- zur Sensibilisierung für fachspezifische Anforderungen beim Lesen, Schreiben und Sprechen im Mathematikunterricht,
- zur Bedeutung des Begriffs der konzeptionellen Schriftlichkeit und deren Auswirkung auf das Lernen im Unterricht,
- zur Information über die unterrichtlichen Anforderungen an die Diskurskompetenz der Lernenden.

Für das Lesen, Schreiben und Sprechen wurden Strategien und Methoden vermittelt, die ergänzend zu den inhaltlichen Zielen auch die fachsprachlichen Ziele in den Blick nehmen. Begleitend werden der Einsatz von Strategien und Techniken des „Scaffolding“<sup>1</sup> angeregt und sprachdiagnostische Methoden und Instrumente thematisiert. In der praxisnahen Begleitung der SINUS-Sets in zyklischen Prozessen der Entwicklung – Erprobung – Überarbeitung von Methoden und Materialien zur Sprachbildung im Mathematikunterricht ist ein umfangreicher Materialpool entstanden. Die Qualität der Materialien ist durch einen regelmäßigen Austausch im Set und zielorientierte Fortbildungen durch Referenten sichergestellt.

In allen Bereichen werden differenzierte Angebote gemacht und können Alternativen vorgestellt werden, die jeweils in Anpassung an die Lernenden entwickelt wurden. Aktuelle Materialien, Ideen und Methodenvorschläge (Leisen, 2013) für sprachsensiblen Fachunterricht aus der Literatur wurden aufgegriffen, im Projekt erprobt, verändert und erweitert. Das vielfältige Material wird durch

1 Scaffolding bezeichnet ein Lerngerüst, mit dem den Lernenden Strukturen als Hilfestellung vorgegeben werden.

Informationen zu angewandten Methoden und durch Erfahrungsberichte aus dem Unterricht ergänzt.

### Zielsetzung

Unsere Ziele sind, möglichst viele Mathematiklehrerinnen und -lehrer

- für die sprachlichen Anforderungen und Schwierigkeiten der Fachsprache zu sensibilisieren,
- ihnen Methoden und Arbeitsmaterial für den täglichen Unterricht zur Verfügung zu stellen
- und ihnen praxisnahe und erprobte Hilfen zu geben.

Das nun vorliegende Material ist alltagstauglich und wurde an Gesamtschulen, Realschulen, Hauptschulen und Gymnasien erprobt.

Im Folgenden stellen wir konkrete Beispiele für Ihren Unterricht vor, die sich sowohl auf den Erwerb von Inhalten und Konzepten als auch auf den systematischen Aufbau von Strategiewissen beziehen. Dabei berücksichtigen wir

- das sinnerschließende Lesen und die Besonderheiten der Informationsentnahme aus mathematischen Texten: Lesestrategien, Textaufgabenknacker, Arbeit mit Referenzstrukturen, Anleitung des Darstellungswechsels, Gliederungshilfen,
- den Erwerb von Schreibstrategien und Schreibroutinen im Rahmen einer prozessorientierten Schreibdidaktik (Pertzel & Schütte, 2016), die das Schreiben als sehr ertragreiche Möglichkeit des Erwerbs von Bildungs- und Fachsprache befürwortet: Schreibpläne, strukturiertes Schreiben, differenzierte Schreibförderung, Anfertigen von eigenen Textaufgabenbüchern,
- das Gestalten von Unterrichtsgesprächen mit Hilfe von Strategien, die einen Erwerb sprachlicher Kompetenzen im besonderen Maße fördern: Vorbereitung mündlicher Beiträge, Sicherung der Qualität von Beiträgen, Aufbau diskursiver Elemente bei den komplexen Sprachhandlungen Erklären und Argumentieren.

## 2. Exemplarische Dokumentation von Materialien

### Materialien zum Einsatz in Fachkonferenzen bzw. professionellen Lerngruppen zur sprachlichen Qualifizierung von Mathematiklehrkräften auf der Basis fachdidaktischer Grundlagen

Im Rahmen der SINUS-Phase sind Materialien für die Arbeit mit professionellen Lerngruppen entstanden. Es handelt sich um Präsentationen, die zur Qualifizierung der Set-Teilnehmenden, bei Netzwerktreffen der sprachsensiblen Schulentwicklung oder auf Kongressen und Tagungen als Grundlage von Vorträgen eingesetzt wurden. Für diese Veröffentlichung wurden die Präsentationen verfilmt und die kommentierenden Texte vertont. Die Präsentationen können als Grundlage für Fortbildungen genutzt werden. Sie enthalten Aufforderungen zum eigenständigen Arbeiten und regen zu Diskussionen an. Jede Präsentation dauert etwa 45 Minuten.

Eine Reihenfolge ist nicht zwingend zu beachten. Wir empfehlen jedoch, zunächst einen Überblick zu gewinnen, um die Reihenfolge der Bausteine an die professionelle Lerngruppe anzupassen. Zum Download bereit stehen drei Präsentationen mit verschiedenen Schwerpunkten des sprachsensiblen Unterrichts:

*Material 1: Sensibilisierung und erste sprachliche Grundlagen*

Grundlagen des sprachsensiblen Mathematikunterrichts
<p>Mit dieser Präsentation bekommen Sie eine erste Einführung in das Thema anhand folgender, zentraler Fragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Was verstehen wir unter sprachsensiblen Unterricht?</li> <li>– Was bedeutet genau Sprachsensibilität im Mathematikunterricht?</li> <li>– Warum sollten wir alle sprachsensibel unterrichten?</li> <li>– Warum hilft sprachsensibler Unterricht unseren Schülerinnen und Schülern beim Erwerb der mathematischen Kompetenzen?</li> <li>– Wie kann man im Unterricht Sprachsensibilität umsetzen?</li> </ul>

*Material 2: Sprachliche Grundlagen*

Leistungsstark – Grammatische Phänomene und syntaktische Strukturen in mathematischen Texten
<p>Mit dieser Präsentation bekommen Sie eine erste Einführung in das Thema anhand folgender zentraler Fragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Welcher Zusammenhang besteht zwischen Sprachkompetenz und Mathematikleistung?</li> <li>– Welche spezifischen sprachlichen Kompetenzen sind für die Mathematik notwendig?</li> <li>– Welche sprachlichen Merkmale zeichnen die Texte im Mathematikunterricht aus?</li> </ul> <p>Die Sensibilisierung für die Besonderheiten der mathematischen Fach- und Unterrichtssprache erfolgt anhand von Textstellen aus aktuellen Lehrbüchern.</p>

*Material 3 : Methoden des sprachbildenden Unterrichts*

Schreiben im Mathematikunterricht
<p>Die Präsentation bietet einen Einblick in die Funktion des Schreibens zum Kompetenzerwerb im Fach Mathematik.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Wie wird sprachsensibler Fachunterricht im curricularen Rahmen dargestellt?</li> <li>– Welchen Beitrag leistet das Schreiben zum fachlichen Lernen?</li> <li>– Wie kann das Schreiben für Schülerinnen und Schüler gewinnbringend eingesetzt werden?</li> </ul> <p>Während der gesamten Präsentation werden an den Projektschulen erprobte Lernarrangements vorgestellt und es wird über die wesentlichen Erfahrungen aus der Sicht der Schülerinnen und Schüler sowie der Lehrkräfte berichtet.</p>

Die verfilmten Präsentationen finden Sie auf [www.sinus.nrw.de](http://www.sinus.nrw.de).

### **Methoden- und Materialpool zur Gestaltung eines sprachbildenden Unterrichts im Fach Mathematik**

Im Folgenden werden einige Materialien des Materialpools exemplarisch vorgestellt. Dabei erläutern wir zunächst das Unterrichtsmaterial unter fachdidaktischen Aspekten. Im Anschluss werden die fachlichen und sprachlichen Kompetenzerwartungen in einer Tabelle aufgeführt. Bei den fachlichen Kompetenzerwartungen beziehen wir uns exemplarisch auf die Kernlehrpläne der Gesamtschule (MSJK, 2004). Die Kompetenzerwartungen für andere Schulformen sind vergleichbar, müssen jedoch den jeweiligen Lehrplänen entnommen werden.

Hinweise zu sprachlichen Kompetenzen finden sich explizit derzeit nur im KLP Hauptschule aus dem Jahr 2011 (MSW, 2011). Jene können als Grundlage für die Entwicklung eines sprachsensiblen Mathematikunterrichts auch an anderen Schulformen genutzt werden. Abschließend folgen Erläuterungen zum Einsatz



des Materials im Unterricht, beispielsweise für welche Jahrgangsstufen oder auch für welche Phase der Unterrichtsreihe es vorgesehen ist.

### **Textaufgabenknacker als Unterstützung beim Erwerb von Lösungsstrategien**

#### *Erläuterung des Materials*

Mit dem Begriff „Textaufgabenknacker“ verbinden wir Hilfen zur strukturierter Bearbeitung von Textaufgaben. Er dient zum Aufbau und zur Sicherung strategischen Wissens, das zur Bearbeitung von Textaufgaben notwendig ist. Entwickelt wurden mehrere Varianten, die entsprechend den Voraussetzungen der Lernenden eingesetzt werden können. Auf unterschiedlichen Wegen wird der Bearbeitungsprozess in die Schritte „Lesen und Verstehen der Situation“ – „Erfassen des Problems“ – „Entnahme und Strukturierung relevanter Informationen“ – „Lösen durch Rechnen, Zeichnen etc.“ – „Beantworten der Frage“ und „Überprüfen der Antwort“ gegliedert und damit angeleitet.

Vorgestellt werden drei Varianten, die für die Sekundarstufe I entwickelt und dort im Unterricht erprobt wurden. Diese unterscheiden sich in der Reihenfolge der Arbeitsschritte, in den Formulierungen von Arbeitsaufträgen und berücksichtigen damit unterschiedliche kognitive und fachliche Voraussetzungen von Schülerinnen und Schülern.

Langfristig ist anzustreben, dass das Strategiewissen verinnerlicht wird und diese Form der Unterstützung schrittweise abgebaut werden kann.

Das abgebildete Arbeitsblatt (Abbildung 1), der Textaufgabenknacker Variante 1, wurde im 8. Jahrgang einer Hauptschule eingesetzt. Diese Variante hat sich besonders in Lerngruppen mit geringen fachlichen Kompetenzen bewährt, die bei der Bearbeitung von Textaufgaben besonders große Vorbehalte zeigen. Durch das Anfertigen einer Skizze oder Bildergeschichte tritt der Druck, sofort eine Lösung zu finden, zunächst in den Hintergrund und der Aufbau des Situationsmodells wird unterstützt. Erst im Anschluss wird nach der Problemstellung gefragt, indem einem Mitschüler die Fragestellung erklärt werden muss. Dabei können die sprachlichen Anforderungen im Bereich der Alltagssprache bleiben und bei der Erklärung kann die eigene Skizze zur Hilfe genommen werden.

### Aufgabe Schubkarre

Projekt M14-01

Name: \_\_\_\_\_

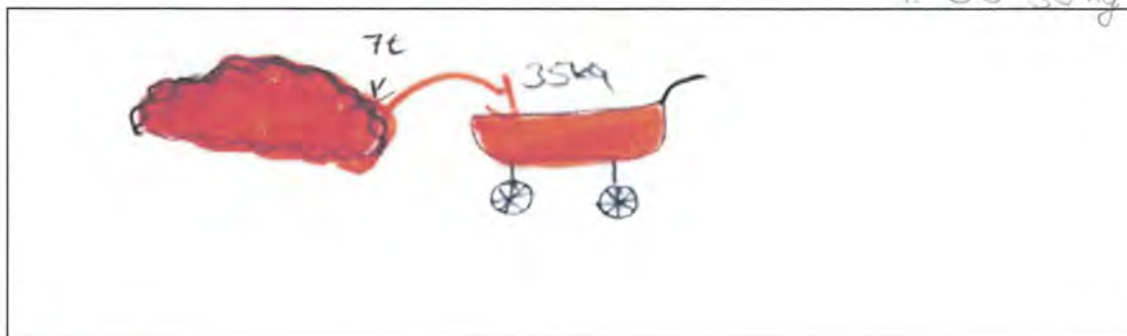
Klasse: 8c

Schule: \_\_\_\_\_

Für das Strandcafé am Badeseesee wurden 7t Sand vor dem Café abgeladen. Die Mitarbeiter transportieren den Sand mit Schubkarren zum See. Je Schubkarre kann man 35kg Sand transportieren. Wie viele Fahrten mit der Schubkarre sind nötig?

#### gegeben:

- Lies den Text und kläre jedes unbekannte Wort.
- Markiere Zahlen und Wörter, die du zum Lösen der Aufgabe brauchst.
- Fertige eine Skizze, ein Bild oder eine Bildergeschichte an. Schreibe die Begriffe und Zahlen aus dem Text in das Bild.



#### gesucht:

- Erkläre einem Schüler, der die Aufgabe nicht kennt, was man berechnen muss.

Man muss berechnen wieviel mal die Karre hin und her getragen wird

- Schreibe Rechenweg und Lösung auf.

$$7.000 : 35 = 200$$

Abbildung 1: Textaufgabenknacker Variante 1

Variante 2 des Textaufgabenknackers (Abbildung 2) wurde ebenfalls in der 8. Klasse einer Hauptschule eingesetzt. Es folgt nach dem Lesen und dem Klären unbekannter Wörter die Aufforderung, zunächst zu identifizieren, was gesucht ist. Damit muss direkt eine Deutung des Textinhalts erfolgen. Aber auch hier wird wie bei Variante 1 statt einer Formulierung der Fragestellung die Erklärung eingefordert, was zu berechnen ist. Anschließend werden die Lernenden angeleitet, auf der Grundlage der Problemstellung die relevanten Informationen zu entnehmen und diese mit Hilfe einer Darstellung zu strukturieren.

➤ Lies den Text und kläre jedes unbekannte Wort.

gesucht:

➤ Erkläre einem Schüler, der die Aufgabe nicht kennt, was man berechnen muss.

gegeben:

➤ Markiere Zahlen und Wörter, die du zum Lösen der Aufgabe brauchst.

➤ Fertige eine Skizze, ein Bild oder eine Bildergeschichte an. Schreibe die Begriffe und Zahlen aus dem Text in das Bild.

➤ Schreibe den Rechenweg und die Lösung auf.

Abbildung 2: Textaufgabenknacker Variante 2

Variante 3 (Abbildung 3 und 4) wurde an einer Gesamtschule im 5. Jahrgang gemeinsam mit der Lerngruppe entwickelt und anschließend im Unterricht erprobt. Es handelt sich hierbei um eine sprachlich reduzierte Form des Textaufgabenknackers. Dies zeigt sich zum einen in der kurzen Formulierung der Arbeitsschritte. Zum anderen wird darauf verzichtet, die Informationen des Textes nochmals in Bildern darzustellen und die Problemstellung in eigenen Worten zu erklären. Zur Visualisierung können die Arbeitsschritte zusätzlich auf einem Plakat (Abbildung 3) in der Klasse aufgehängt werden. Unterstützend ist es möglich, ein strukturiertes Arbeitsblatt vorzugeben (Abbildung 4).

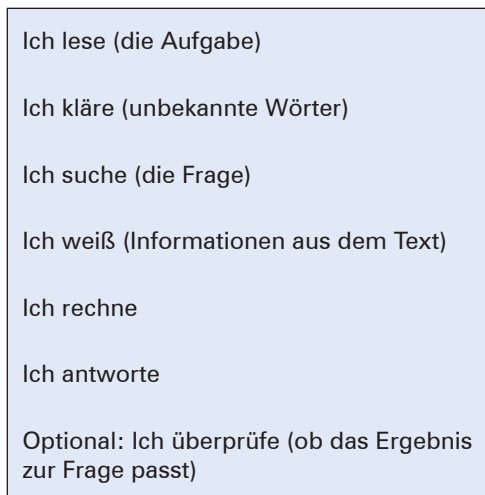


Abbildung 3: Textaufgabenknacker Variante 3, Plakat zur Visualisierung der im Unterricht entwickelten Aspekte



*Kompetenzerwartungen*

Fachlich	Sprachlich
<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– entnehmen mathematische Informationen aus Texten, Bildern und Tabellen (Lesekompetenz) (<i>Argumentieren/Kommunizieren</i>),</li> <li>– geben inner- und außermathematische Problemstellungen mit eigenen Worten wieder (<i>Problemlösen</i>),</li> <li>– nutzen verschiedene Darstellungsformen, mathematische Verfahren (<i>Problemlösen</i>),</li> <li>– übersetzen Realsituationen in mathematische Modelle (<i>Modellieren</i>)</li> <li>– überprüfen und interpretieren die im mathematischen Modell gewonnene Lösung in der jeweiligen realen Situation (<i>Modellieren</i>).</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– nutzen strategisches Wissen zum Bearbeiten von Aufgabentexten,</li> <li>– setzen Informationen aus verschiedenen Textstellen in Bezug zueinander.</li> </ul> <p><i>aus dem KLP HS (MSW, 2011)</i></p> <p><i>Benennen, Definieren, Beschreiben</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfassen und präzises Bezeichnen fachlich relevanter Aspekte und Unterrichtsgegenstände</li> </ul>

Die inhaltsbezogenen Kompetenzerwartungen sind abhängig vom jeweiligen Inhaltsbereich.

*Einsatz im Unterricht*

Der Textaufgabenknacker kann in allen Jahrgangsstufen und zu allen Inhaltsbereichen eingesetzt werden. Der Textaufgabenknacker wurde an verschiedenen Schulformen (Haupt-, Real- und Gesamtschule, Gymnasium) in den Jahrgängen 5 bis 10 eingesetzt. Dabei wurde er im gemeinsamen Lernen (Förderschwerpunkte Lernen, Emotionale und soziale Entwicklung sowie Geistige Entwicklung) und in den beiden Differenzierungsstufen der Gesamtschule (E- und G-Kurse) erprobt.

Zu Beginn wirkte diese Methode recht aufwendig, da sich Schülerinnen und Schüler zunächst an das scheinbar neue Aufgabenformat gewöhnen mussten und eine Phase der Einübung notwendig war. Dennoch zeigte sich schnell, dass die Unterstützung in der strategischen Bearbeitung zu quantitativ und qualitativ besseren Arbeitsergebnissen führte. Für die Schülerinnen und Schüler ergab sich jedoch nicht immer die Sinnhaftigkeit der geforderten Zeichnung (vgl. Abbildung 2, S. 19). Häufig wurde diese weggelassen, sodass die Lehrkraft immer wieder auf deren Bedeutung und Notwendigkeit hinweisen musste.

In einigen Lerngruppen zeigte sich, dass der Zeitpunkt zum Abbau der Hilfestellung gut gewählt werden muss. Waren die Arbeitsschritte noch nicht ausreichend verinnerlicht, fielen viele Schülerinnen und Schüler in nicht zielführende Muster zurück. Dieses planlose Vorgehen führte vermehrt zu falschen Lösungen bis hin zur Nichtbearbeitung. Beobachtungen aus Klassenarbeiten stützen diese These: Wurden Textaufgaben mit Hilfe des Schemas bearbeitet, konnten fast alle Schülerinnen und Schüler zumindest Teile der Aufgabe lösen. Die Unterstützung durch Textaufgabenknacker ermöglicht vor allem lernschwächeren Schülerinnen und Schülern, sich in die Situation einzufinden und Hemmschwellen abzubauen. Darüber hinaus zeigte sich, dass auch leistungsstärkere Lernende davon profitieren können.

Im Material finden sich weitere Varianten des Textaufgabenknackers, die in den verschiedenen Lerngruppen erfolgreich eingesetzt wurden.

## Das Textaufgabenbuch

### *Erläuterung des Materials*

Das Textaufgabenbuch wurde in den 5. und 6. Klassen einer Gesamtschule entwickelt und erprobt. Im Textaufgabenbuch werden von den Lernenden selbst verfasste Rechengeschichten gesammelt. Jede Schülerin und jeder Schüler der Klasse verfasst mit Hilfe der unten abgebildeten Arbeitsmaterialien eine Textaufgabe zu einem vorgegebenen mathematischen Inhaltsbereich in einem Kontext ihrer bzw. seiner Wahl.

Der Arbeitsprozess wird in vier Phasen gegliedert, die in den folgenden Abbildungen illustriert werden. In der ersten Phase werden vorhandene Aufgabentexte analysiert. An der Tafel wird die Gliederung in Rechengeschichte, mathematischer Inhalt und Rechenfrage vorgenommen. Im Anschluss wird von jedem Lernenden mit Hilfe einer vorgegebenen Gliederung eine Aufgabe entworfen (Abbildung 5 und 6). Danach erfolgt die Rückmeldung durch die Mitschülerinnen und Mitschüler anhand vorgegebener Kriterien (Abbildung 7).


	
Erfinde eine Textaufgabe.	
Rechengeschichte	
Rechenfrage	
Mathematischer Inhalt	
Zahlen/ Signalwörter	
Rechnung	
Antwort	

Abbildung 5: Arbeitsblatt mit vorgegebener Gliederung


Erfinde eine Textaufgabe.		 Nordrhein-Westfalen
Rechengeschichte	Ich gehe in ein Möbelgeschäft und kaufe einen Schrank für 378€. Und ein Bett für 778€. Und dann fahre ich zur Saturn und kaufe mir ein iPhone 7 für 867€.	
Rechenfrage	Wie viel muss ich insgesamt bezahlen?	
Mathematischer Inhalt	378€, 778€, 867€	
Zahlen/ Signalwörter	insgesamt	
Rechnung	$  \begin{array}{r}  378\text{€} \\  +778\text{€} \\  +867\text{€} \\  \hline  2023\text{€} \\  \hline  2433\text{€}  \end{array}  $	
Antwort	Sie bezahlt insgesamt 2433€ ich	

Abbildung 6: Schülerlösung


Beurteile die Aufgabe deines Partners.				 Nordrhein-Westfalen
Bereich	Frage	😊	☹️	
Sprache	Ist die Geschichte leserlich geschrieben?		X	
	Kannst du alle Sätze verstehen?		X	
Inhalt	Passt die Aufgabe zur Geschichte?	X		
Aufbau	Hast du dich an den Aufbau gehalten?	X		
	Hat die Rechengeschichte dazu passende Zahlen und Wörter?	X		
	Gibt es eine passende Rechenfrage?	X		
Das hat mir besonders gut gefallen:	Das du viele Zahlen benutzt hast			
Das kannst du noch besser machen:	etwas lesbar schreiben			

Abbildung 7: Schülerlösung zum Rückmeldebogen



Zur Qualitätssicherung im Hinblick auf Inhalt, Aufbau und Sprache werden die Aufgabentexte nach einer Rückmeldung durch die Lernpartner überarbeitet. Abschließend erfolgen eine Abschrift in normgerechter Schreibweise und eine Gestaltung der Schülerprodukte (Abbildung 8). Die Produkte werden im Anschluss in einem Buch zusammengefasst. Dieses kann als Übungsbuch in der eigenen Lerngruppe oder auch in parallelen Klassen genutzt werden. Dazu ist es sinnvoll, die jeweiligen Lösungen auf der Rückseite zu notieren.

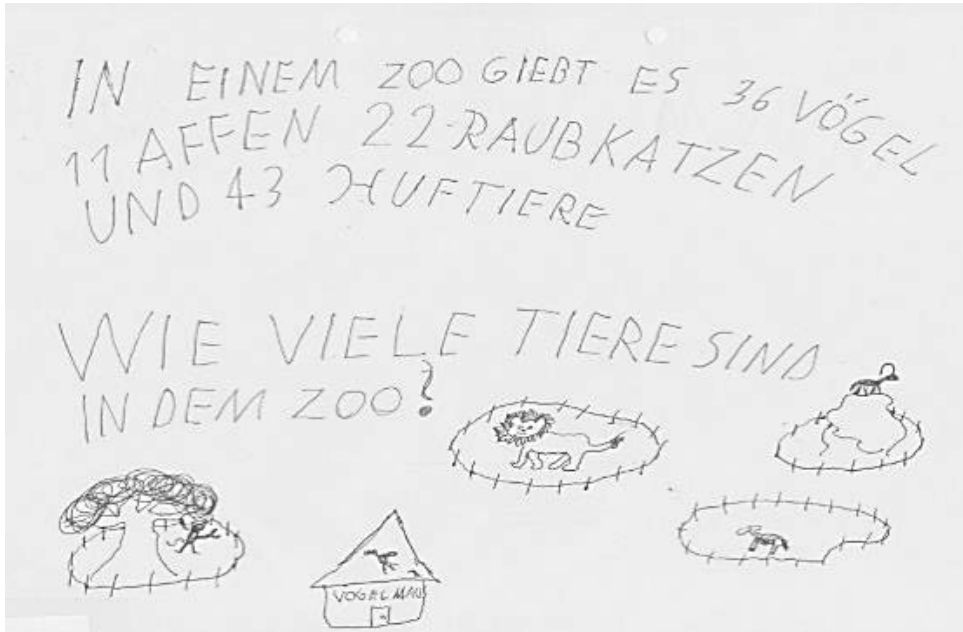


Abbildung 8: Beispiel für ein fertiges Schülerprodukt

### Kompetenzerwartungen

Fachlich	Sprachlich
<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– entnehmen mathematische Informationen aus Texten, Bildern und Tabellen (Lesekompetenz), analysieren die Aussagen (<i>Argumentieren/Kommunizieren</i>),</li> <li>– übersetzen Realsituationen in mathematische Modelle und ordnen mathematischen Modellen passende Realsituationen zu (<i>Modellieren</i>).</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– analysieren die Struktur von Aufgabentexten,</li> <li>– verwenden sachbezogenen und fachsprachlichen Wortschatz.</li> </ul> <p><i>aus dem KLP HS (MSW, 2011)</i>  <i>Bennen, Definieren, Beschreiben</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfassen und präzises Bezeichnen fachlich relevanter Aspekte und Unterrichtsgegenstände anhand von fachbezogenen Begriffen</li> </ul> <p><i>Erklären, Erläutern</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– angemessene Verbalisierung von Zusammenhängen</li> </ul> <p><i>auf Textebene</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– globale Kohärenz: inhaltlicher Gesamtzusammenhang, „roter Faden“ eines Textes: z. B. schlüssige, bruchlose Darstellung von Zusammenhängen, Berücksichtigung inhaltlicher und sprachlicher Zusammenhänge</li> </ul>

Die inhaltsbezogenen Kompetenzerwartungen sind abhängig vom jeweiligen Inhaltsbereich.

#### *Einsatz im Unterricht*

Im Prinzip ist die Methode in allen Jahrgängen und zu allen Themen einsetzbar, sie ist dann nur in der Komplexität der Inhalte anzupassen. Optimal ist der Einsatz in den unteren Jahrgängen. Das Schreiben von selbst verfassten Rechengeschichten kann als eigenes kleines Unterrichtsvorhaben geplant werden. Es dient der Sicherung der mathematischen Inhalte und ist am Ende einer Einheit gut platziert. Wir haben die Erfahrung gemacht, dass die Schülerinnen und Schüler sehr motiviert an den Aufgaben arbeiten. Die Identifikation mit dem Produkt der eigenen Klasse ist sehr hoch – einige gestalten ihre Produkte sehr aufwendig und liebevoll. Wir konnten beobachten, dass diese Methode zur Sprachförderung den kompetenten Umgang mit Textaufgaben und Aufgaben aus Lehrbüchern stärken konnte und dass Vorbehalte auf Seiten der Schülerinnen und Schüler gegenüber Textaufgaben verringert werden konnten.

### **Podcasts**

#### *Erläuterung des Materials*

Die Methode der Podcasts wurde im Mathematikunterricht zweier Klassen der Jahrgangsstufe 8 am Gymnasium eingesetzt, um den Schülerinnen und Schülern eine Möglichkeit zu geben, sich zum Abschluss einer Unterrichtsreihe vertiefend und kreativ mit einem mathematischen Inhalt auseinanderzusetzen. Die Aufgabe besteht darin, die mathematischen Inhalte in Form von selbst erstellten Erklärvideos adressatengerecht darzustellen und mit eigenen Formulierungen unter Berücksichtigung der Fachsprache zu erklären.

In diesem Beispiel produzieren die Lernenden Podcasts zum Thema „Kreis“. Das Material bietet die Möglichkeit, nach Niveaustufen zu differenzieren. Die mit einem Stern gekennzeichneten Arbeitsaufträge sind für alle Schülerinnen und Schüler verpflichtend. Sie sind teilgeführt und werden durch weitere Materialien wie Papierkreise, Zerlegscheibe und kreisförmige Gegenstände im Klassenraum begleitet (Abbildung 9).

Arbeitsaufträge, die mit zwei Sternen gekennzeichnet sind, richten sich an Lernende, die vorzeitig mit den Pflichtaufgaben fertig sind. Hierbei geht es um das Lösen mathematischer Problemstellungen durch Vorwärts- und Rückwärtsdenken, Formelarbeit sowie das Umstellen von Formeln (Abbildung 10). Ein innermathematisches Weiterarbeiten im Themenbereich ermöglichen die Arbeitsaufträge mit drei Sternen (Abbildung 11).

## Podcast zum Thema: Der Kreis

- Erklärt in einem Videopodcast für jemanden aus der Parallelklasse möglichst anschaulich und vielfältig, was Wolfgang und Sabine herausgefunden haben und wie sie dabei vorgegangen sind.
- Schreibt dafür ein Drehbuch.
- Beachtet dabei die gemeinsam von der Klasse festgelegten Kriterien.

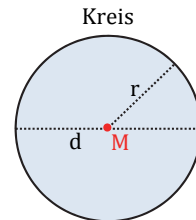


Wolfgang hat für den Mathematikunterricht den Durchmesser und den Umfang verschiedener kreisförmiger Gegenstände gemessen.

Er behauptet: „Der Umfang ist etwa das Dreifache des Durchmessers.“

### Arbeitsauftrag:

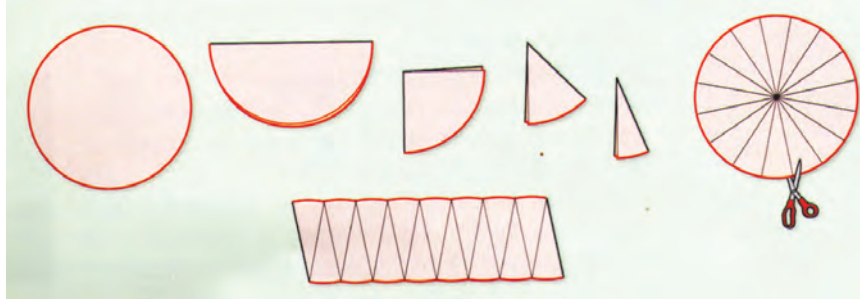
- Erschließt euch zunächst jeder für sich selber, wie Wolfgang das herausgefunden haben könnte.
- Es könnte dabei helfen, die Maße von verschiedenen kreisförmigen Gegenständen zu messen und in einer Tabelle zu notieren.



Gegenstand	Umfang	Durchmesser	Quotient



Sabine hat über ihre Aufzeichnungen aus der letzten Stunde Saft geschüttet, so dass ihre Aufzeichnungen verwischt sind. Sie weiß noch, dass es um den Flächeninhalt des Kreises geht.



### Arbeitsauftrag:

- Führt das Experiment nach Sabines Anleitung durch und erklärt, wie man damit zu einer Formel für den Flächeninhalt kommt.
- Welche Kenntnisse aus früheren Jahrgangsstufen verwendet ihr dabei?

Abbildung 9: Aufgabenbeispiele für Pflichtaufgaben (ein Stern)



Rita sagt:

„Wenn man nur eine Teilfläche des Kreises berechnen soll, kann man vorgehen wie in der Bruchrechnung. Ein Kreisausschnitt gibt einen Teil von einem ganzen Kreis an, der zugehörige Kreisbogen ist ein Teil vom Umfang.“

Mittelpunktswinkel	Flächeninhalt	Kreisbogen
$\alpha$	$A$	$b$
$360^\circ$	$\pi \cdot r^2$	$2 \cdot \pi \cdot r$
$1^\circ$		
$\alpha$		

**Arbeitsauftrag:**

- Leitet mit Hilfe der Tabelle die Formeln für den Flächeninhalt und den Kreisbogen einer Teilfläche eines Kreises her.

Abbildung 10: Beispiel für eine weiterführende Aufgabe (2 Sterne)



**Arbeitsauftrag:**

Leitet die folgende Formel her:

$$A = \frac{1}{2} \cdot b \cdot r$$

Abbildung 11: Beispiel für eine Aufgabe zur innermathematischen Weiterarbeit (3 Sterne)

*Kompetenzerwartungen*

Fachlich	Sprachlich
<p>Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– erläutern mathematische Einsichten und Lösungswege mit eigenen Worten und geeigneten Fachbegriffen und präsentieren Überlegungen in kurzen, vorbereiteten Beiträgen sowie Problembearbeitungen in vorbereiteten Vorträgen (<i>Argumentieren/Kommunizieren</i>),</li> <li>– geben innermathematische Problemstellungen mit eigenen Worten wieder (<i>Problemlösen</i>).</li> </ul>	<p>aus dem KLP HS (MSW, 2011)</p> <p><i>Berichten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– angemessene Wiedergabe mithilfe sachlicher Wortwahl (Vermeidung subjektiver Eindrücke) auch unter Verwendung von Fachsprache</li> <li>– Abstimmung des Informationsgehalts sowie der Abfolge von Informationen auf den konkreten Zweck des Berichts</li> </ul> <p><i>Erklären, Erläutern</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– angemessene Verbalisierung von Zusammenhängen, z. B. Beachtung logischer Verknüpfungen, adäquater Nebensatzkonstruktionen, Herstellung zeitlicher Bezüge</li> </ul>

Die inhaltsbezogenen Kompetenzerwartungen sind abhängig vom jeweiligen Inhaltsbereich.

### *Einsatz im Unterricht*

Die Podcasts können in allen Jahrgangsstufen und zu allen Inhaltsbereichen eingesetzt werden. Je nach Jahrgangsstufe und Medienkompetenz der Lerngruppe müssen ggf. zusätzlich individuelle Hilfestellungen angeboten werden.

Die hier abgebildeten Arbeitsblätter zum Thema Kreis sind in der Sekundarstufe I ab Klasse 8 einsetzbar. Die Lerngruppe erarbeitete mit viel Motivation die kleinen Podcasts. Durch die Binnendifferenzierung war es allen Schülerinnen und Schülern möglich, sich in die Gruppenarbeit einzubringen und somit am Endprodukt beteiligt zu sein. Dadurch, dass die fertigen Produkte in der Parallelklasse als Einstieg in das Thema „Der Kreis“ eingesetzt wurden, konnte die Arbeit der Lerngruppe besonders gewürdigt werden. Der Lernprozess der Parallelklasse konnte durch den Einsatz der selbst erstellten Erklärvideos unterstützt werden.

Weitere Materialien finden Sie auf [www.sinus.nrw.de](http://www.sinus.nrw.de).

## **3. Erfahrungsbericht, Rückmeldungen**

### **Zur Arbeit im SINUS-Set**

Die Unterstützung durch die Set-Gruppe für die Planung des eigenen sprachsensiblen Unterrichts wurde als sehr hilfreich wahrgenommen, insbesondere in der Anfangsphase des Projekts. Brachten zunächst vor allem die Set-Leiterinnen Expertise und Vorschläge ein, zu deren unterrichtlicher Umsetzung die Set-Mitglieder ermutigt wurden, konnten zunehmend neue Ideen und Varianten zur Sprachförderung im Mathematikunterricht von Seiten der teilnehmenden Lehrkräfte eingebracht und deren Umsetzung im Unterricht reflektiert werden. Gemeinsam geplante Materialien fanden sich dann genauso auf der Austauschplattform wie von einzelnen Teilnehmerinnen und Teilnehmern gestaltete Materialien. Durch gegenseitige Hospitationen (insbesondere auch schulformübergreifend) erhielten alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer neue Ideen und hatten die Möglichkeit, ihre eigenen Konzepte vorzustellen sowie zu erproben.

Die hervorragende Zusammenarbeit in den Set-Gruppen sowie der rege Austausch über die Internetplattform bildeten eine wichtige Basis der Projektarbeit.

### **Auswirkungen im Unterricht**

Im Unterricht selbst zeigten die Schülerinnen und Schüler aller Schulformen große Offenheit bezüglich der angewandten sprachbildenden Methoden. Neben konkreten Aha-Erlebnissen („So wird das geschrieben!“) trat auch das konsequente Einfordern sprachsensiblen Fachunterrichts seitens der Lerngruppen in den Vordergrund.

Das Schreiben eröffnete vielen Schülerinnen und Schülern einen neuen Zugang zur Mathematik. Beim Neuformulieren von vorhandenen Aufgabentexten erweiterten sich sowohl der mathematische als auch der sprachliche Horizont. Einhellige Rückmeldung der Lerngruppen war, dass diese Art der Herangehensweise an Aufgaben für sie einen großen Gewinn bedeute. Überhaupt stellte sich heraus, dass Schülerinnen und Schüler gern mehr schreiben würden, um Aufgaben zu verstehen. Dies ist sicher ein Aspekt, der in Zukunft stärker in den Unterricht einfließen sollte. Beschreiben, erklären, erläutern: Operatoren wie diese können in allen Jahrgangsstufen sprachfördernd gefüllt werden.

Auch die anderen Bereiche des sprachsensiblen Unterrichts (Lesen und Sprechen) bildeten zeitweise Schwerpunkte der Arbeit. Das Lesen war bei der Neuaufnahme von Aufgabentexten sowie bei der Vorstellung selbstgeschriebener Texte wichtig und förderungswürdig. Sinnbetontes Lesen von Fach- und Sachtexten, das den Kern des Textes zur Geltung kommen lässt, fiel vielen Schülerinnen und Schülern noch schwer, konnte aber durch stetiges Üben in einigen Lerngruppen erheblich verbessert werden.

Der Einsatz von *Face-to-Face*-Gesprächen in Partnerarbeitsphasen hilft Schülerinnen und Schülern, Unterrichtsbeiträge unter zunehmender Berücksichtigung der Fachsprache vorzubereiten. Wortgeländer<sup>2</sup> als Satzbausteine haben sich dabei als sehr hilfreich herausgestellt.

Im (während der SINUS-Phase durchgeführten) Unterricht ist die Zunahme der Bildungs- und Fachsprache deutlich erkennbar gewesen. Sprachsensibler Fachunterricht ist in der Unterrichtsrealität der Set-Mitglieder nun fest verwurzelt.

#### 4. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Perspektiven

Das Folgeprojekt wird den Schwerpunkt auf die Versprachlichung tragfähiger zentraler Grundvorstellungen der Mathematik legen. Entwickelt und erprobt werden hierzu themenspezifisch ausgearbeitete Konzepte zur Sprachbildung. Der Fokus liegt dabei auf anwendungsbezogenem Wissen für fachspezifisch relevante Sprachhandlungen und notwendige Sprachmittel zum nachhaltigen Aufbau von Kompetenzen. Außerdem sollen weitere Unterstützungsmaterialien zur sprachsensiblen Unterrichtsentwicklung entstehen, die sich zur Fortbildung in professionellen Lerngemeinschaften eignen, z. B. für den Einsatz in Fachkonferenzen und Schulteams zur Sprachförderung und Unterrichtsentwicklung.

#### Literatur

- Baumert, J., Kunter, M., Brunner, M., Krauss, S., Blum, W. & Neubrand, M. (2004). Mathematikunterricht aus der Sicht der PISA-Schülerinnen und -Schüler und ihrer Lehrkräfte. In M. Prenzel et al. (Hrsg.), *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland; Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.
- Leisen, J. (2013). *Handbuch Sprachförderung im Fach*. Stuttgart: Klett Verlag.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2011). *Kernlehrplan und Richtlinien für die Hauptschule in Nordrhein-Westfalen* (Bd. 3203). Düsseldorf: Ritterbach.
- MSJK = Ministerium für Schule, Jugend und Kinder des Landes Nordrhein-Westfalen (2004). *Kernlehrplan für die Gesamtschule Mathematik – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen* (Bd. 3106). Düsseldorf: Ritterbach.
- Pertzel, E. & Schütte, A. U. (2016). *Schreiben in Biologie, Geschichte und Mathematik (Klasse 5/6), Schriftlichkeit im sprachsensiblen Fachunterricht*. Münster: Waxmann.
- Renk, N., Prediger, S., Büchter, A., Benholz, C. & Gürsoy, E. (2013). Hürden für sprachlich schwache Lernende bei Mathematiktests – Empirische Analysen der Zentralen Prüfungen 10 NRW. In Gesellschaft für Didaktik der Mathematik (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht* (S. 809–812). Verfügbar unter [http://www.mathematik.uni-dortmund.de/ieem/bzmu2013/Inhalt/2013-07-23\\_BAND2.pdf](http://www.mathematik.uni-dortmund.de/ieem/bzmu2013/Inhalt/2013-07-23_BAND2.pdf) [10.11.2017].

2 Wortgeländer sind Gerüste (Scaffolds) aus vorgegebenen Elementen/Worten zur Konstruktion eigener Texte.

## Projektgruppe

Die Projektgruppe hat in zwei Gruppen gearbeitet:

### Set Recklinghausen

- Dietrich-Bonhoeffer-Realschule, Hunsrückstr. 15, 45665 Recklinghausen, vertreten durch Özen Simsir-Möller
- Schule an der Wasserbank, Wasserbank 20, 45663 Recklinghausen, vertreten durch Charlotte Königs, Raphael Bruns, Thomas Janssen
- Erich-Klausener-Schule, Ebbelicher Weg 19, 45699 Herten, vertreten durch Jan Overkamp
- Martin-Luther-King-Gesamtschule Marl, Georg-Herwegh-Straße 63-67, 45772 Marl, vertreten durch Alexa Kubiak, Ramona Roch, Anna Mertens

### Set Witten

- Lessingschule Bochum, Ottilienstr. 12, 44892 Bochum, vertreten durch Johannes Groß
- Wilhelm-Kraft-Gesamtschule, Geschwister-Scholl-Str. 10, 45549 Sprockhövel, vertreten durch Cornelia Witzmann, Heike Hochreuther
- Bert-Brecht-Gymnasium, Sumbecks Holz 5, 54379 Dortmund, vertreten durch Kathrin Richter, Charlotte Kather





Dirk Bresinsky, Jeanette Fuhrmann, Klara Kolcov und Annett Veit

## **Alltag in Grundkursen in der SI? – Kompetenzerwerb im Fach Mathematik für leistungsschwache Schülerinnen und Schüler**

Ein Blick auf die Ergebnisse der Zentralen Prüfungen 10 im Fach Mathematik auf dem Niveau des Hauptschulabschlusses (HSA) (Qualitäts- und Unterstützungsagentur – Landesinstitut für Schule NRW, 2015) wirft die Frage auf, wie es in der Schule bzw. im Unterricht gelingen kann, gerade leistungsschwache Schülerinnen und Schüler zu motivieren, mathematische Grundvorstellungen auf- und auszubauen und Basiskompetenzen zu entwickeln. Der Anteil der nicht ausreichenden Prüfungsleistungen ist über Jahre zu groß und kann von den Lehrkräften nicht akzeptiert werden. Auffallend bei einer genaueren Analyse ist, dass bereits der erste Prüfungsteil, in dem Basiskompetenzen in Form von direkt zugänglichen kleineren Aufgaben gestellt werden, nur zur Hälfte von den Prüflingen ausgeschöpft wird. Mathematische Grundvorstellungen sind häufig nicht aufgebaut worden und Basiskompetenzen können z. T. nicht ausreichend nachgewiesen werden (Roß, 2015; Roß & Besuch, 2016).

Bereits zwei Jahre vor dem Abschluss wird durch die Lernstandserhebung 8 diagnostiziert, welche Kompetenzen bei den Schülerinnen und Schülern zum Testzeitpunkt in der Klasse gut entwickelt sind und welche Kompetenzen noch gestärkt werden sollten. Den Lehrkräften werden damit wichtige Hinweise für die weitere Unterrichtsarbeit gegeben („Blick von außen“). Die landesweiten Ergebnisse zum Lernstand 8 weisen aber ebenfalls darauf hin, dass vier von zehn Schülerinnen und Schülern in den Grundkursen der Hauptschulen und Gesamtschulen den Mindeststandard für den Hauptschulabschluss (HSA Kompetenzniveau 1B: Blum, Roppelt & Müller, 2012) nicht erreichen (MSW, 2016).

Das Ziel dieses Projektes liegt darin, einen langfristigen, nachhaltigen und verständnisorientierten Aufbau von Grundvorstellungen insbesondere in den letzten beiden Schuljahren zu unterstützen. Der Umgang mit leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern ist vielfältig und umfangreich und stellt Lehrkräfte im Schulalltag vor unterschiedliche Probleme. Bei der Materialentwicklung standen folgende Aspekte im Vordergrund:

- Aufbau von Grundvorstellungen und Vermittlung von Basiskompetenzen
- Motivation der Schülerinnen und Schüler durch lebensnahe Kontexte unter Berücksichtigung der individuellen Lernvoraussetzungen

**Grundvorstellungen**

## 1. Projektbeschreibung und Zielsetzung

### Vorüberlegung im Projekt

#### Basiskompetenzen

Im Projekt wurden Grundbausteine für den Unterricht erstellt, bei denen die Entwicklung und Festigung der Grundvorstellungen und der Basiskompetenzen im Fokus stehen. Die beiden Bausteine „Grundvorstellungen“ und „Basiskompetenzen“ sind eng miteinander verknüpft, denn ohne Grundvorstellungen fehlen den Schülerinnen und Schülern Basiskompetenzen. Doch welches Basisniveau müssen gerade leistungsschwache Schülerinnen und Schüler erreichen? Aussagekräftig ist die folgende Definition:

*Basiskompetenzen sind „mathematische Kompetenzen, über die alle Schülerinnen und Schüler aller Bildungsgänge am Ende der allgemeinen Schulpflicht mindestens und dauerhaft verfügen müssen. Sie sind Voraussetzungen für eine eigenständige Bewältigung von Alltagssituationen und aktive Teilhabe als mündige Bürgerinnen und Bürger am gesellschaftlichen und kulturellen Leben. Sie sind ebenso Voraussetzungen für einen Erfolg versprechenden Beginn einer Berufsausbildung und die Ausübung beruflicher Tätigkeiten.“ (Druke-  
Noe et al., 2011, S. 8)*

#### Motivation

Mit Blick auf die Unterrichtsrealität und den Alltag in Grundkursen an Haupt- und Gesamtschulen zeigen sich jedoch neben den fehlenden Basiskompetenzen und Grundvorstellungen weitere Schwierigkeiten. Gerade den leistungsschwachen Lernenden fehlt es an Erfolgserlebnissen und Motivation. Demgegenüber stehen die Lehrkräfte mit ihrer Unsicherheit im Umgang mit schwachen und stark heterogenen Lerngruppen. Welche Grundvorstellungen fehlen den Schülerinnen und Schülern, um Basiskompetenzen zu erreichen? Welche Inhalte des Kernlehrplans sind in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung? Wie kann eine kognitive Aktivierung bei den Schülerinnen und Schülern stattfinden? Gibt es eine Möglichkeit, Lernenden Erfolgserlebnisse zu bieten, deren Wissen zu aktivieren, vernetzt anzuwenden und zugleich vielfältige mathematische Strategien zu festigen?

Auf Grundlage dieser Fragen entstanden Ideen für die Entwicklung geeigneter Materialien für leistungsschwache Schülerinnen und Schüler. Diese wurden erprobt und im Rahmen des gemeinsamen Austauschs im Projekt kritisch ausgewertet.

### Schwerpunkte des Projektes

In diesem SINUS-Projekt wurden mit Blick auf die Unterrichtsrealität Maßnahmen und Materialien zur Unterrichtsentwicklung konzipiert und erprobt, die geeignet sind, leistungsschwache Schülerinnen und Schüler im Regelunterricht aktiv am Unterricht zu beteiligen. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler motiviert und ihnen Erfolgchancen angeboten werden. Weiter sollen Grundvorstellungen aktiviert und gefestigt werden, immer mit dem Blick auf die Basisinhalte der Lehrpläne. So entstanden innerhalb des Projektes vier Schwerpunkte:

- 1) Schülerinnen und Schüler für den Mathematikunterricht mit realen, schüler-nahen Kontexten zu motivieren,
- 2) Lerngelegenheiten zu schaffen für das Wachhalten von mathematischem Grundwissen durch regelmäßige Kopfübungen,

- 3) Grundvorstellungen zu aktivieren und auszubauen am Beispiel der Volumenberechnung,
- 4) eine Formelsammlung für den Grundkurs Mathematik (auf dem Anforderungsniveau HSA) zu konzipieren und zu erproben.

Alle entstandenen Materialien sind mit besonderem Blick auf die leistungsschwächeren Schülerinnen und Schüler in Grundkursen in dem Doppeljahrgang 9/10 konzipiert worden. Der Blick richtet sich nicht auf die verschiedenen Begebenheiten einzelner Schulen, sondern richtet sich dahin, wo die Lernenden in ihren jeweiligen Lernprozessen stehen. Diese Voraussetzungen werden als Ist-Bestand genutzt, um von dort den weiteren Lernweg gemeinsam mit ihnen zu gestalten.

Bei Kopfrechenübungen (vgl. S. 40f.) soll beispielsweise mit leichten Aufgaben begonnen werden, damit die Lernenden Erfolgserlebnisse erfahren und durch die Beschreibung ihrer Lösungsstrategien Wissensbausteine erweitern und festigen können.

Um Grundvorstellungen zu aktivieren und auszubauen, sollen auch haptische Erfahrungen in den Vordergrund rücken und mit Verbalisierungen verknüpft werden. Die Schülerinnen und Schüler gelangen z. B. über das Abzählen und das Auslegen von Reihen und Schichten selbstständig zur Grundvorstellung von der Volumenberechnung (vgl. S. 44f.) und dadurch zu den Basiskompetenzen der Leitidee 2 „Messen“ (KMK, 2004).

Da für die Kompetenzentwicklung viel Zeit eingeplant werden muss, wird die Entwicklung von Konzepten und Materialien dabei gemäß Kernlehrplan auf zentrale kognitive Prozesse sowie die mit ihnen verbundenen Gegenstände, die für den weiteren Bildungsweg unverzichtbar sind, beschränkt. Die Grundlage bilden die Kernlehrpläne Mathematik für die Gesamtschule (MSJK, 2004) und Hauptschule (MSW, 2011).

## 2. Exemplarische Dokumentation von Materialien

### Was kostet das Leben? – Lebensnahe Kontexte motivieren

Während des Projektes kam immer wieder das Thema auf, wie schwierig es doch sei, gerade leistungsschwache Schülerinnen und Schüler in den Jahrgängen 9 und 10 für den Mathematikunterricht zu motivieren. Parallel zu unserer Diskussion kursierte ein Post<sup>1</sup> in den sozialen Netzwerken, der eine Debatte in den Medien zur Folge hatte, welche das Schulsystem anprangerte. Eine 17-jährige Schülerin schrieb: „Ich bin fast 18 und hab keine Ahnung von Steuern, Miete oder Versicherungen. Aber ich kann 'ne Gedichtanalyse schreiben. In 4 Sprachen“<sup>2</sup>.

So entwickelte sich die Idee, eine Unterrichtsreihe für die Jahrgangsstufe 10 zu konzipieren, welche mathematische Inhalte mit lebensrelevanten und für die Schülerinnen und Schüler bedeutsamen Themen verknüpft. Mit diesen mathematischen Inhalten sollen die Schülerinnen und Schüler auf die zentralen Prüfungen 10 vorbereitet und ihnen zugleich Grundlagen für das Leben mit auf den Weg gegeben werden.

lebensrelevante  
Themen

1 Post: Veröffentlichung eines Beitrages in sozialen Netzwerken.

2 Vgl.: [http://www.focus.de/familie/schule/schuelerin-prangert-schulsystem-an-allgemeinbildung-fehlanzeige-aber-ich-kann-ne-gedichtsanalyse-in-4-sprachen\\_id\\_4398825.html](http://www.focus.de/familie/schule/schuelerin-prangert-schulsystem-an-allgemeinbildung-fehlanzeige-aber-ich-kann-ne-gedichtsanalyse-in-4-sprachen_id_4398825.html) [Stand: 25.05.2017].

**aktive Teilhabe**

Gerade leistungsschwachen Schülerinnen und Schülern ist im Schulalltag nicht bewusst, wo sich im täglichen Leben überall Mathematik versteckt. Kommentare von Seiten der Lernenden wie „Wofür brauche ich das?“ oder „Mathe brauche ich für meinen Beruf sowieso nicht“ haben schon alle Lehrkräfte gehört. Wie können Lehrkräfte und das System Schule damit umgehen? Ist es nicht die Aufgabe von Schule (und des Mathematikunterrichtes), neben dem allgemeinen Bildungsauftrag auch Basiskompetenzen zu vermitteln, um die *„Voraussetzung für eine eigenständige Bewältigung von Alltagssituationen und die aktive Teilhabe als mündige Bürgerinnen und Bürger am gesellschaftlichen und kulturellen Leben“* (Druke-Noe et al., 2011, S. 8) zu unterstützen? Sind sie *„nicht ebenso Voraussetzung für einen Erfolg versprechenden Beginn einer Berufsausbildung und die Ausübung beruflicher Tätigkeiten“?* (Druke-Noe et al., 2011, S. 8) Wie kann man es schaffen, junge Menschen auf das Leben nach der Schule vorzubereiten, sie auf dem Weg in die Eigenständigkeit begleiten und sie befähigen, sich Informationen zu besorgen, diese einzuordnen und zu bewerten? Norbert Blüm brachte es auf den Punkt: *„Es kann doch nicht der Sinn von Bildung sein, dass jeder Einsteins Relativitäts-Theorie erklären, aber keiner mehr einen tropfenden Wasserhahn reparieren kann.“*<sup>3</sup>

**Unterrichtsreihe**

Eine Verbindung zwischen dem Lehrplan voller Fachkompetenzerwartungen, den entsprechenden Leistungsüberprüfungen und den bevorstehenden Aufgaben im Alltag wird hergestellt. Der Fokus wird auf einzelne Bereiche des Lebensalltages gelegt. Dazu werden die verbindlichen Kontexte des Kernlehrplanes der Hauptschule (MSW, 2011) „Lebenshaltungskosten“, „Grundrisse/Wohnflächen“, „Kredite/Überschuldung“, „Tarif- und Preisvergleiche“ und „Verkehr“ aufgegriffen. Die so entstandene Unterrichtsreihe „Was kostet das Leben“ deckt die folgenden Bereiche ab:

- „Haushaltsbuch – was habe ich, was brauche ich?“
- „Lohn und Gehalt – Wie viel bleibt mir?“
- „Die Bank – eine andere Sprache“
- „Der Führerschein und das eigene Auto“
- „Das Renovieren der neuen Wohnung“

**prozessbezogene Kompetenzen**

Während der Entwicklung zeigte sich, wie diese Themen mit den mathematischen Inhalten verkettet sind. Teilgebiete wie die Prozentrechnung, die Gleichungslehre, die Flächen- und Volumenberechnung und das Darstellen und Auswerten von Daten sind mathematische Inhalte, welche im gesellschaftlichen Leben immer wieder zur Anwendung kommen. Die prozessbezogenen Kompetenzen „Argumentieren“, „Problemlösen“, „Modellieren“, „Kommunizieren“ und „Werkzeuge“ werden durch die Beschäftigung mit konkreten Gegenständen weiterentwickelt. Die Schülerinnen und Schüler werden anhand eines fiktiven jugendlichen Paares motiviert, die Zeit nach dem Schulabschluss ins Auge zu fassen, und können fachspezifische Kompetenzen erwerben bzw. weiterentwickeln.

**Kommentierte Übersicht über „Was kostet das Leben“**

Zu Beginn der Unterrichtsreihe dokumentieren die Schülerinnen und Schüler ihre täglichen Ausgaben. Anhand einer Tabelle notieren sie die Ausgaben für die Pausensnacks, Zeitschriften und andere Dinge eine Woche lang. Dieser Einstieg in die Unterrichtsreihe ist zum einen motivierend und dient zugleich der Sensibilisierung für das Thema „Umgang mit Geld und eigenen Ausgaben“.

3 Vgl.: Norbert Blüm (\*1935) Quelle: [http://zitate.woxikon.de/bildung\(13\)](http://zitate.woxikon.de/bildung(13)) [Stand: 24.05.2017].



Abbildung 1: Lisa und Justin

Nach der Vorstellung des fiktiven jugendlichen Paares Lisa und Justin (Abbildung 1) sowie ihren Zukunftswünschen dient die tabellarische Übersicht möglicher monatlicher Einnahmen und Ausgaben als erste Überprüfung des Vorwissens der Lerngruppe. In diesem ersten Kapitel „Haushaltsbuch – was habe ich, was brauche ich?“ werden durch realistische Werte die monatlichen Einnahmen und Ausgaben des Paares überprüft und die Schülerinnen und Schüler recherchieren nach möglichen Einsparungstipps (z. B. Wechsel des Telefonanbieters). Die mathematischen

Vorwissen

Kompetenzen wie das Verwenden des Tabellenkalkulationsprogrammes, die Prozentrechnung, das Ablesen von Daten sowie das Erstellen von Kreisdiagrammen werden mit Hilfe der ersten Arbeitsblätter vertiefend wiederholt. Ergänzend gibt es für die Schülerinnen und Schüler Tipp-Karten, um den Dreisatz und das Zeichnen von Winkeln aufzufrischen. Des Weiteren vervollständigen die Lernenden in diesem ersten Kapitel eine Telefonrechnung mit Brutto- und Nettobeträgen und berechnen anhand von Termen die Kosten verschiedener Telefonverbindungen. Die Bearbeitung der anschließenden, lückenhaften Stromrechnung (Abbildung 2) zeigt die Komplexität dieser Rechnungen. Hier werden mathematische Begriffe, Grundrechenaufgaben und die Prozentrechnung wiederholt. Der eigene Stromverbrauch wird in dem folgenden Arbeitsblatt thematisiert und reflektiert.

Herrn Justin Schmidt Licher Weg 10 65654 Echzell							
		kWh = Kilo-Watt-Stunde (Kilo = 1000)		Differenz = Unterschied		Gesamtpreis für kWh	
Zähler-Nr.	Abrechnungszeitraum		Zählerstände in kWh		Zählerstands- differenz	Einzelpreis in € pro kWh	Gesamtpreis in €
	von	bis	alt	neu			
57816685	01.01.2014	31.12.2014	5484	10145	①	0,1569	②
Stromsteuer (Cent/kWh)	Stromsteuer gesamt in €		Grundpreis/ Nettobetrag in €		Umsatzsteuer 19 % in €		Gesamtbetrag in €
2,05	③		④		⑤		⑥

Abbildung 2: Die Stromrechnung

Das zweite Kapitel „Lohn und Gehalt – Wie viel bleibt mir?“ thematisiert das monatliche Brutto- und Nettogehalt. Die Schülerinnen und Schüler erhalten einen ersten Überblick über die Lohnkosten und die verschiedenen Steuerklassen. Sie müssen Informationen aus einem Text und einer tabellarischen Übersicht erschließen und Zusammenhänge herstellen. Die Prozentrechnung und das Arbeiten mit dem Tabellenkalkulationsprogramm stehen wieder im Vordergrund. Für weitere Ausbildungsberufe recherchieren die Schülerinnen und Schüler die Ausbildungsvergütung und berechnen die prozentualen Gehaltsunterschiede bezüglich der Ausbildungsjahre.

Prozentrechnung

**Werkzeuge  
nutzen**

In dem Kapitel „Die Bank – eine andere Sprache“ werden zu Beginn Fachbegriffe aus dem Bankwesen thematisiert. Die Lernenden ordnen diese den Erklärungen zu, untersuchen verschiedene Kontostände, zeichnen Diagramme, lesen und interpretieren ein Diagramm. Das Lesen und das Ergänzen eines Kontoauszuges (Abbildung 3) sowie die Anwendung der Zinsrechnung sind Kompetenzbereiche, welche in diesem Kapitel gefestigt werden (Kernlehrplan für die Gesamtschule Mathematik – Sekundarstufe I, MSJK, 2004). Die Schülerinnen und Schüler berechnen Jahres- bzw. Monatszinsen und Überziehungszinsen und erstellen einen Kreditplan mit dem Tabellenkalkulationsprogramm. Damit wird der prozessbezogene Kompetenzbereich „Werkzeuge nutzen“ und der inhaltsbezogene Kompetenzbereich „Funktionen“ im Rahmen der Zinsrechnung wiederholt und gefestigt.

Kontoauszug		Vielsparer-Bank			
Konto-Nr. 1346092					
Wert-	Text	Soll	Umsaetze	Haben	
26.04.	Scheck 02	700,00			
28.04.	DA Miete	980,00			
28.04.	DA LBS	...?			
28.04.	Lebensversicherung 75A311900				
	Oeffentl. Vers. Burgstadt	66,50			
28.04.	Gehalt April				
	Industriewerk Wiesenhausen			4.373,80	
Herrn		Alter Saldo	H	129,68	
Wolfgang Kerner		Neuer Saldo	H	2.676,98	
Obere Allee 73					
98307 Wiesenhausen					
Buch.-Datum	Anlagen	Auszug	Blatt		
02.05.	2	18	1		
H = Guthaben		S = Schuld			

Abbildung 3: Der Kontoauszug

Im Abschnitt: „Der Führerschein und das eigene Auto“ geht es um die Kosten eines Führerscheins in Verbindung mit dem Vergleichen zweier Anbieter (Abbildung 4) sowie um die Unterhaltungskosten eines eigenen Autos. Hier werden die jährlichen Kosten mit einer Tabellenkalkulation berechnet und anhand von Graphen wird der Wertverlust eines Autos interpretiert.

In dem letzten Kapitel: „Das Renovieren der neuen Wohnung“ lesen die Schülerinnen und Schüler Wohnungsanzeigen mit den verschiedenen Abkürzungen und erarbeiten, welche Renovierungskosten für eine Wohnung anfallen. Die Schülerinnen und Schüler berechnen die Inhalte der Wandflächen und den Umfang vom Grundriss, wenden das Dreisatzrechnen bei proportionalen Zuordnungen an und führen arithmetische Operationen im Sachkontext aus.

Sie recherchieren die entsprechenden Preise in Baumarktprospekten und auf Internetseiten und berechnen die benötigten Mengen an Tapeten und weiteren Malerutensilien. Die inhaltsbezogenen Kompetenzen aus den Bereichen „Geometrie“, „Funktionen“ und „Arithmetik/Algebra“ werden so weiterentwickelt.

Justin und Lisa erkundigen sich bei unterschiedlichen Fahrschulen und möchten die möglichen Ausgaben berechnen, um ihren Führerschein zu machen.

Fahrschule: „Mit Sicherheit“			Fahrschule: „Flink, aber sicher!“	
Grundbetrag	€	250,00 €	Grundbetrag	210,00 €
Fahrstunde	€	34,50 €	Fahrstunden	36,75 €
Landstraße	€	je 52,00 €	Landstraßen	37,50 €
Autobahn	€	je 52,00 €	Autobahnen	37,50 €
Nachtfahrt	€	je 52,00 €	Nachtfahrt	37,50 €
Vorstellung zur Prüfung			Vorstellung zur Prüfung	
Theorie	€	35,00 €	Theoretische Prüfung	49,00 €
Praxis	€	105,00 €	Praktische Prüfung (komplett)	99,00 €
<b>Gesamtkosten:</b> _____			<b>Gesamtkosten:</b> _____	

Abbildung 4: Vergleich von zwei Fahrschulangeboten

### Erfahrungsbericht und Fazit

Die Erprobung der Unterrichtsreihe „Was kostet das Leben?“ bestätigte nicht nur die oben zitierte Aussage einer Schülerin, sondern auch die vermuteten fehlenden Erfahrungen und Kenntnisse der Jugendlichen in diesem lebensnahen und für sie überaus relevanten Kontext. Lediglich auf rudimentäre Vorstellungen zu Lebenshaltungskosten, Steuern und Abgaben konnte aufgebaut werden, sodass viel Arbeit für die Vermittlung der erforderlichen Grundvorstellungen notwendig war. Gleichzeitig überzeugte uns die ausgesprochen hohe Motivation der Schülerinnen und Schüler während der gesamten Unterrichtsreihe:

Dass bereits durch liebgewonnene Angewohnheiten wie tägliches ausgiebiges Duschen nicht zu vernachlässigende Kosten anfallen, überraschte die Schülerinnen und Schüler ebenso wie die Höhe der zu leistenden Abgaben und Steuern in den jeweiligen geplanten Ausbildungen und Berufen. Die im Kernlehrplan für die Hauptschule verankerten verbindlichen Kontexte (MSW, 2011) erleichterten somit die Wiederholung, Vertiefung und Systematisierung relevanter fachbezogener Kompetenzen. So gelang es, ausgehend von der Prozent- und Zinsrechnung durch das Aufstellen eines Finanzierungsplans für das fiktive junge Paar, exponentielles Wachstum an einem für Jugendliche relevanten Kontext zu thematisieren.

Positiv fiel auf, dass die Schülerinnen und Schüler anscheinend spielerisch mit der Vielfalt der Angebote umgehen können. So stellte z. B. der Vergleich von Gaspreisen keine besondere Herausforderung dar. Weitergehende Unterstützung benötigten die Schülerinnen und Schüler erst beim Erfassen der Zusammenhänge zwischen dem Kraftstoffverbrauch eines Autos und dem Preis pro Liter Kraftstoff, sodass über die geplanten Hilfestellungen hinaus eine systematische Vereinfachung der Rechnungen zum Erfolg führte.

An vielen Stellen zeigte sich auch, dass die Schülerinnen und Schüler meist sicher mit einer Tabellenkalkulation umgehen und auch eigene Kostenplanungen und -übersichten aufstellen, erfassen und weitgehend interpretieren können. Die Erprobung des Materials zeigte, dass sich eine Stärkung des Alltagsbezugs im Schulunterricht lernförderlich auswirken kann. Für Schülerinnen und Schüler relevante und bedeutsame Kontexte bieten eine gute Voraussetzung, mathematische

hohe Motivation

Vertiefung und Systematisierung

Alltagsbezug ist lernförderlich

### Aktivierung von Grundwissen

Basiskompetenzen zu wiederholen und zu vertiefen. Rudimentäres Grundwissen zu Kosten konnte durch eine Abfrage am Kapitelanfang aktiviert werden. Von Seiten der Lerngruppe wurden viele interessante Fragen aufgeworfen, die wir als Lehrkräfte beantworten mussten. Die unterrichtende Lehrkraft hatte damit auch die Möglichkeit, ihre Schülerinnen und Schüler besser kennenzulernen und auf die individuellen Voraussetzungen einzugehen.

Alle Arbeitsblätter sind zum Herunterladen auf der Seite [www.sinus.nrw.de](http://www.sinus.nrw.de) bereitgestellt.

### Kopfübungen – gegen das Vergessen von Grundaufgaben

Regelmäßiges Üben und Wiederholen von im Mathematikunterricht erarbeiteten Inhalten sind die Voraussetzung dafür, dass die erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten wachgehalten werden. Eine Möglichkeit dafür sind die Kopfübungen.

Kopfübungen<sup>4</sup> enthalten Grundaufgaben und deren Umkehrungen zu verschiedenen Unterrichtsinhalten sowie Begriffe und Verfahren, welche dauerhaft verfügbar sein sollten. Die im Kopf zu rechnenden Aufgaben beziehen sich nicht ausschließlich auf den aktuellen Unterrichtsinhalt und bieten somit eine wiederkehrende Lerngelegenheit. Sie haben Diagnosecharakter sowohl für Schülerinnen und Schüler als auch für die Lehrkraft. Die Ergebnisse sollten wertungsfrei, d. h. ohne Benotung bleiben, um den Charakter der eigenen Verantwortung für das Lernen zu betonen.

### Verantwortung für das Lernen

Die gemischten Kopfübungen werden in diesem Sinn als Lerngelegenheit für das Wachhalten von mathematischen Grundlagen verstanden (Bruder, 2008, S. 5). Diese regelmäßigen Wiederholungen können insbesondere leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler im reformpädagogischen Sinn da abholen, wo sie stehen. Einerseits sollen sie eine Kompetenzerweiterung erzielen und andererseits bereits nach einem kurzen Zeitraum Lernerfolge erkennbar machen.

Durch geschicktes Kombinieren von aktuellen mit zeitlich zurückliegenden Inhalten entstehen Lernchancen für ein vertieftes Verständnis. Damit kann dieses Übungsformat in höhere Jahrgänge übertragen werden.

Bei dem Übertragen auf die höheren Jahrgangsstufen standen folgende Leitfragen im Fokus:

- Können (schon verstandenes) Grundwissen und erlangte Basiskompetenzen durch die regelmäßigen Kopfübungen wachgehalten werden und kann damit nachhaltiges Lernen erzielt werden?
- Kann es gelingen, gerade lernschwache Schülerinnen und Schüler zu motivieren und ihnen Erfolgserlebnisse zu bieten?

### Empfehlung zur Umsetzung im Unterricht

Die hier vorgestellten Kopfübungen beinhalten jeweils zehn Aufgaben aus verschiedenen Bereichen der Mathematik und werden einmal wöchentlich zu Beginn des Mathematikunterrichts eingesetzt. Die Bearbeitungszeit liegt bei zehn bis fünfzehn Minuten. Beim ersten Einsatz ist ein erhöhter Zeitbedarf einzuplanen, da die Schülerinnen und Schüler sich an dieses Übungsformat gewöhnen müssen. Die Anzahl der Aufgaben sowie die wöchentliche Durchführung sind variabel. Während der Erprobung an den Schulen wurde von einigen Lehrkräften dieses Übungsformat zusätzlich in den unteren Jahrgängen mit einer geringeren Anzahl von Aufgaben übernommen und in jeder Mathematikstunde als „Warm-up“ eingesetzt.

### Zeitbedarf

4 Vgl.: Regina Bruder: [https://www.did.mathematik.tu-darmstadt.de/moodle/file.php/5/FAQ/Vermischte\\_Kopfuebungen\\_1\\_.pdf](https://www.did.mathematik.tu-darmstadt.de/moodle/file.php/5/FAQ/Vermischte_Kopfuebungen_1_.pdf) [Stand: 26.05.2017].



Thema \ Datum				Richtige pro Zeile
Addition			...	
Subtraktion			...	
Multiplikation			...	
Division			...	
Textaufgaben			...	
Flächeninhalt u. Umfang			...	
Prozentrechnung			...	
Terme u. Gleichungen			...	
Satz des Pythagoras			...	
Diverses (Begriffe,...)			...	
Anzahl richtiger Lösungen :				

Abbildung 5: Übersicht zur Selbsteinschätzung

Die Aufgaben werden entweder von der Lehrkraft vorgelesen oder den Schülerinnen und Schülern mit Overhead-Folie präsentiert bzw. an die Tafel geschrieben. Nach der Bearbeitung werden Ergebnisse und Lösungswege verglichen und von den Schülerinnen und Schülern ausgewertet. Mit Blick auf die Lerngruppe hat die Lehrkraft bei der Ergebnissicherung die Möglichkeit, Aufgaben tiefergehend zu besprechen und die Lösungsstrategien der Schülerinnen und Schüler zu thematisieren. Die Lehrkraft kann die Fehler der Lernenden nachvollziehen, aber auch gute Lösungsansätze aufgreifen. Die Chance der Fokussierung auf die Erklärung des Lösungsweges unterstreicht den Diagnosecharakter der Kopfübungen. Wenn Lernende ihre Lösungsstrategie versprachlichen und erklären können, kann die Lehrkraft von einem mathematischen Verständnis ausgehen und ggf. den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben erhöhen.

**Lösungsstrategien aufgreifen**

Alle Schülerinnen und Schüler erhalten mit der ersten Kopfübung ein Übersichtsblatt für einen Zeitraum von sechs Wochen, auf dem sie nur ihre Lösung eintragen (vgl. Abbildung 5). Dieses Übersichtsblatt sollte in Schülerhand verbleiben, bis dieser Zeitraum vorüber ist. Die letzte Spalte verrät am Ende des Zeitraums, welche Aufgabenbereiche von der/dem Lernenden schon beherrscht werden. Somit erschließen sich Förderschwerpunkte für die weitere Kompetenzentwicklung.

**Übersicht zur Selbsteinschätzung**

Die Inhalte der Kopfübungen sind in vier Themenblöcke unterteilt. Der erste Themenblock beinhaltet Aufgaben zu den vier Grundrechenarten sowie eine Textaufgabe. Dabei greifen die Aufgaben auf unterschiedlichste Art die zugrunde liegenden Grundvorstellungen auf. Anschließend werden Aufgaben zu Inhalten der vorangegangenen Unterrichtsreihe und des aktuellen Unterrichts aufgegriffen. Als Abschluss wird die Kenntnis von Fachbegriffen aus allen Inhaltsbereichen der Mathematik abgefragt.

**Themenblöcke**

Diese Regelmäßigkeit und Beständigkeit der Kopfübungen über einen längeren Zeitraum, idealerweise über ein ganzes Schuljahr, gibt den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, ihre Lernfortschritte zu erkennen. Durch den tabellarischen Aufbau des Übungsblattes und der wiederkehrenden Aufgabenformate erhalten die Schülerinnen und Schüler schnell einen Überblick, in welchen Bereichen sie sich mit der Zeit verbessert haben oder ihr Kenntnisstand gleichgeblieben ist.

## Kommentierte Übersicht der Materialien

Es wurden viele Kopfübungen in Grundkursen an Haupt- und Gesamtschulen erprobt. Diese Materialien sind auf der Projektseite zu finden<sup>5</sup>. Insgesamt wurden acht Kopfübungsbögen erstellt. Jeder Bogen enthält Aufgaben für sechs Wochen bzw. Übungseinheiten. Für die Doppeljahrgangsstufe 9/10 wurden drei Bögen für den Einstieg und zwei Bögen für die Weiterarbeit erstellt. Für die Jahrgangsstufe 8 wurden drei Bögen erstellt. Der Blanko-Bogen für die Schülerinnen und Schüler kann auch als editierbare Word-Datei heruntergeladen werden, um so weitere Bögen für die eigene Weiterarbeit zu erstellen. Zusätzlich ist dort ein Fragebogen zur Evaluation in der Klasse / im Kurs bereitgestellt.

## Evaluation

Die Kernfrage zur Evaluation bestand darin, inwieweit die Kopfübungen gerade von leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern in den Jahrgängen 9 und 10 angenommen wurden und wie ausgeprägt der Lernerfolg war. Das Übungs- und Diagnoseformat wurde in Grundkursen der Haupt- und Gesamtschule erprobt. Anhand eines Fragebogens wurden die Meinungen der Lernenden zu den Kopfübungen erfasst (Abbildung 6 und 7).

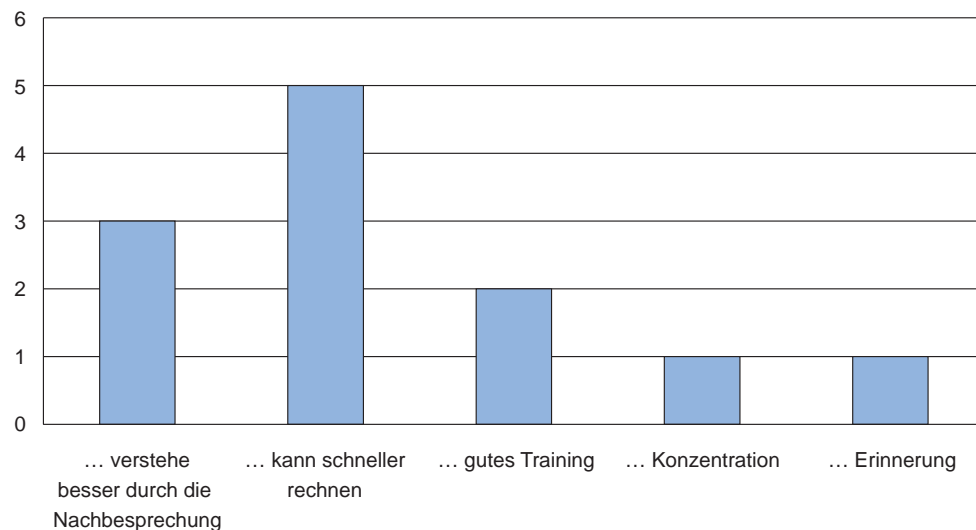


Abbildung 6: Auswertung: „Was haben dir die Kopfübungen gebracht?“

5 Vgl.: [https://www.schulentwicklung.nrw.de/sinus/front\\_content.php?idart=7915](https://www.schulentwicklung.nrw.de/sinus/front_content.php?idart=7915).

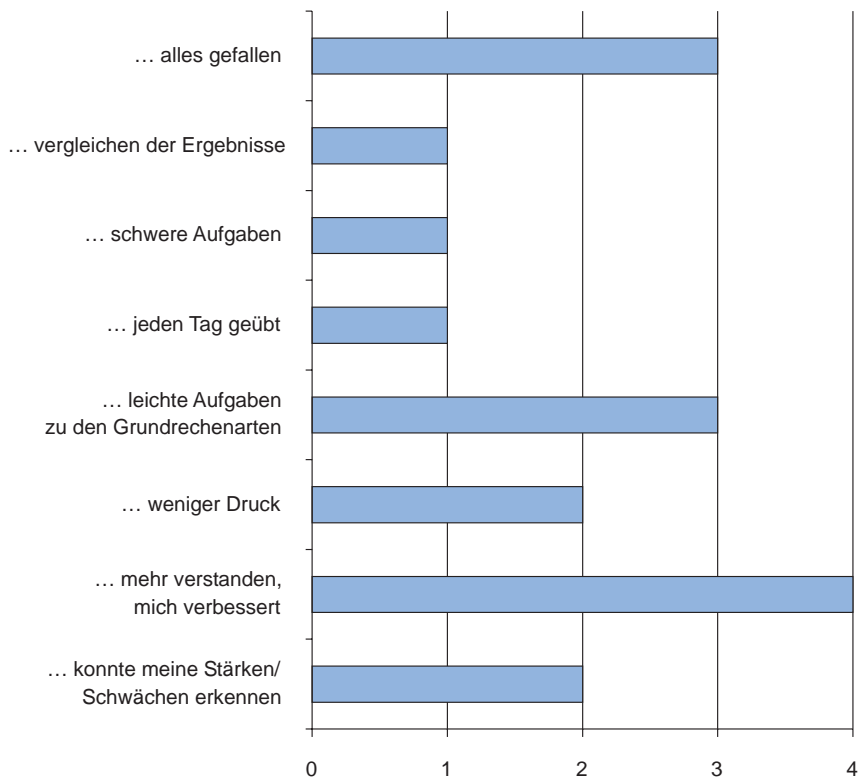


Abbildung 7: Auswertung der „offenen“ Frage

In einem Grundkurs des 9. Jahrgangs einer Hauptschule fand ein Großteil der Schülergruppe die Kopfübungen gut und hilfreich. In der Kategorie: „Was haben dir die Kopfübungen gebracht?“ (vgl. Abbildung 6) zeigte sich, dass durch die Kopfübungen die Schülerinnen und Schüler der Meinung waren, schneller rechnen zu können. Des Weiteren wurden die Kopfübungen von den Lernenden mehrfach pro Woche bzw. in jeder Mathematikstunde gewünscht. Die Schülerinnen und Schüler bestätigten während der Probephase immer wieder, dass ihnen die Kopfübungen gut gefallen und sie durch die tägliche Übung zu einem besseren Grundverständnis gelangten sowie ihre Stärken und Schwächen erkennen konnten (vgl. Abbildung 7). In der Evaluation einer 10. Klasse Typ A einer Hauptschule waren 16 von 18 Schülerinnen und Schülern der Meinung, dass die Kopfübungen ihnen bei der Prüfungsvorbereitung zur ZP10 helfen würden.

besseres  
Grundverständnis

Diese Übungsform hat die Lernenden begeistert. Durch die regelmäßige anschließende Besprechung wurden neue Rechenwege nachvollzogen und eine Verbesserung im Kopfrechnen war auch durch die Lehrkräfte durchaus erkennbar. Bereits diese kleinen Erfolgserlebnisse haben die Schülerinnen und Schüler sehr motiviert. Die Zufriedenheit der Lernenden ist während der Erprobungsphase spürbar gewesen und gerade leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler mit häufig erlebten Misserfolgen wirkten motivierter und zeigten wieder Freude am Mathematikunterricht. Einige Lernende nannten in der Evaluation konkret, was ihnen am Ende der regelmäßigen Kopfübungen besonders gefallen hat bzw. welchen Nutzen sie für ihren Lernprozess aus den Übungen ziehen konnten. Häufiger wurde dabei genannt, dass Inhalte oder Verfahren gefestigt wurden und vor allem, dass bewusst wurde, was noch gelernt und verstanden werden muss.

Die Kopfübungen bieten ein breites Spektrum an unterrichtlichem Mehrwert, da mathematische Fachbegriffe der Grundrechenaufgaben eingebracht und geübt werden können. Durch das Erklären verwendeter Lösungsstrategien wer-

den alle Schülerinnen und Schüler in ihrer Sprachkompetenz gefördert und mit dieser Versprachlichung gelingt zudem eine Stärkung der mathematischen Grundvorstellungen.

### Volumenberechnung – Grundvorstellungen im Jahrgang 9/10

Die Berechnung von Raumvolumina beruht auf Grundvorstellungen von Flächen und Körpern und führt in das verallgemeinerte Prinzip „Grundfläche mal Höhe“. Um gemäß dem Kernlehrplan der Jahrgangsstufe 9/10 im Bereich der Geometrie „Oberflächen und Volumina von Zylindern, Pyramiden, Kegeln [...] schätzen und bestimmen“ (Kernlehrplan für die Gesamtschule Mathematik – Sekundarstufe I, MSJK, 2004) zu können, müssen die Lernenden z.B. die Grundfläche sowie die Höhe einer geraden Säule (Prisma) identifizieren.

Die Grundvorstellungen zu Volumina entsprechen den Grundvorstellungen im Bereich der Flächeninhalte: Neben der Ausdehnungsvorstellung des Raumbedarfes (Aspekt des Messens) ist die Vergleichs-Vorstellung in den beiden Aspekten Zerlegungsgleichheit und Ergänzungsgleichheit auszubilden (Griesel, 1996).

### Fehlende Grundvorstellung – eine Diagnose

Die Berechnung von Volumina einfacher Körper greift im Wesentlichen auf zwei Grundvorstellungen („Auslegen“ bzw. „Zerlegen“) zurück und führt in das verallgemeinerte Prinzip „Grundfläche mal Höhe“. Diese erweiterte Grundvorstellung ist ausgebildet, wenn die Idee erkannt, verbalisiert und auf symbolischer Ebene angewandt werden kann. Der Inhalt der Grundflächen kann wiederum aufgefasst werden als die Anzahl der Einheitsquadrate in dieser Fläche und das Volumen als die Anzahl der Einheitswürfel, die als Schichten darübergelegt werden. Die entsprechenden Formeln können dann verwendet werden, wenn Kenntnisse der Parameter vorliegen.

#### Einheitswürfel

Im Wesentlichen können Volumenberechnungen in der Sekundarstufe I auf zwei Formeln reduziert werden:  $V = G \cdot h$  (für Prismen und Zylinder) und  $V = \frac{1}{3} \cdot G \cdot h$  (für Pyramiden und Kegel). Erst wenn eine tragfähige Grundvorstellung vorhanden ist, können diese und weitere geometrische Zusammenhänge erschlossen werden. Die Grundvorstellung des Volumenmessens eines Quaders durch das Zählen von Einheitswürfeln und das Zusammenfassen in Reihen und Schichten ist die Basis für weitere geometrische Lerninhalte in der Jahrgangsstufe 9/10.

Ergebnisse aus den Zentralen Prüfungen<sup>6</sup> am Ende der Jahrgangsstufe 10 (ZP10) im Fach Mathematik belegen regelmäßig, dass viele Schülerinnen und Schüler keine oder keine tragfähigen Grundvorstellungen zu Volumina aufgebaut haben. Als Beispiel für das Prüfen von Grundvorstellungen kann eine Aufgabe aus dem Jahr 2011 angesehen werden, die eine wesentliche Grundvorstellung aufgreift und bei der problemlösend ein Zusammenhang erkannt werden muss: „Ein Würfel hat das Volumen  $27 \text{ cm}^3$ . Wie groß ist seine Oberfläche?“<sup>7</sup>

Sicherlich können einige Schülerinnen und Schüler die Aufgabe vollständig auf der symbolisch-formalen Ebene lösen, indem sie die entsprechenden Formeln miteinander in Beziehung setzen. Ein großer Teil muss jedoch die

6 Ergebnisse der ZP10 – Allgemeine Informationen und Ergebnisse des Durchgangs 2011 in NRW.

7 Vgl.: ZP10 Mathematik 2011, Hauptschule Typ A/Gesamtschule GK, Prüfungsteil 1, Aufgabe 1d i) (Volumenberechnung).



Abbildung 8: Verknüpfung zur Grundvorstellung der Volumenberechnung durch Zerlegung in Einheitswürfel

Grundvorstellungen der Zerlegung eines Volumens aktivieren. Dieser Prozess muss dennoch auch auf symbolischer Ebene erfasst werden und ganz ohne haptisches Material auf die mathematische Grundidee der Volumenmessung (dem Auslegen von Körpern z.B. mit Einheitswürfeln) zurückgeführt werden. Ggf. müssen auch entsprechende Handlungen in der Vorstellung aktiviert werden (vgl. Abbildung 8). Erst dann kann erkannt werden, dass zunächst die Kantenlänge des Würfels und anschließend der Inhalt einer Seitenfläche berechnet werden muss.

Die im Rahmen eines fachlichen Berichts vorgenommene Auswertung einer Stichprobe von über 1 000 Prüfungsarbeiten aus Hauptschulklassen (Typ A) und Gesamtschul-Grundkursen zeigt, dass ein Großteil der Schülerinnen und Schüler nicht sicher auf Grundvorstellungen der Volumenberechnungen zurückgreifen kann – zumindest gelingt es ihnen nicht, am Beispiel des Würfelvolumens rückwärts auf dessen Kantenlänge zu schließen (MSW, 2013, S. 17).

### Grundvorstellung aufbauen – unsere Umsetzung

Um vor allem leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu geben, in ihrem Lernprozess voranzukommen, wurden für die Jahrgangsstufe 9/10 Materialien zusammengestellt, die eine Grundvorstellung vom Volumen aufbauen und damit zu weiterführenden Kompetenzen im Bereich der Geometrie gemäß den Kernlehrplänen Mathematik (MSJK, 2004) führen können.

Die Lernenden sollen ...

- erkennen und beschreiben, dass jeder Quader mit Einheitswürfeln gefüllt werden kann,
- erkennen und erklären können, dass und wie die Gesamtzahl dieser Einheitswürfel von der Anzahl der Einheitswürfel in einer Reihe, der Anzahl der Reihen und der Anzahl der Schichten des Quaders abhängt,
- die Anzahl der Einheitswürfel eines Quaders als Produkt ermitteln können,
- das Volumen von zusammengesetzten Körpern durch Aufteilen und Ergänzen in Regelkörper bestimmen können,
- das Prinzip von „Grundfläche mal Höhe“ als Verallgemeinerung der Volumenberechnung eines Quaders erkennen, beschreiben und anwenden können.

Um diese Grundvorstellung aufzufrischen bzw. zu erlangen und am Ende die Verallgemeinerung der Volumenberechnung „Grundfläche mal Höhe“ anwenden zu können, beziehen wir uns auf die vier Phasen zum Aufbau von Grundvorstellungen nach Sebastian Wartha (2010). Die Handlungen werden zunächst von allen Lernenden am Modell durchgeführt, um später die Handlung ‚im Kopf‘ nachvollziehen zu können. Im nächsten Schritt werden die Handlungen beschrieben und ein gemeinsames Fachvokabular vereinbart, um




Grundvorstellung  
Volumen

Missverständnissen und Unklarheiten entgegenzuwirken. Um zu einer gedanklichen Vorstellung zu gelangen, sollen die Schülerinnen und Schüler anschließend ihre Lösungsstrategien möglichst losgelöst von dem Material beschreiben, was das gemeinsame Fachvokabular festigt und den Anfang von der konkreten, ikonischen Ebene zur symbolischen Ebene darstellt. In der letzten Phase arbeiten die Schülerinnen und Schüler auf der ikonischen oder symbolischen Ebene, ohne handelndes Material. Durch die Verbalisierung und Anwendung auf weitere Situationen wird die Handlung in der Vorstellungskraft aktiviert und eine Automatisierung und Verallgemeinerung kann stattfinden. Neben den unterschiedlichen Aspekten der Abstraktion sind die Aufgaben so konzipiert, dass die Lehrkraft die Schülerhandlungen beobachten kann.

### Übersicht und Vorstellung der Projektmaterialien

Für dieses Unterrichtsvorhaben wurden zwölf Aufgabenkarten entwickelt. Außerdem bedarf es zugeschnittener Holzklötze und Einheitswürfel (Kantenlänge 1 cm) aus Holz (Tabelle 1).

Tabelle 1: Material zur Umsetzung des Unterrichtsvorhabens

Verschiedene Holzstücke	erweiterter Zehnersystemsatz (1-cm <sup>3</sup> -Würfel, Zehnerstangen, Tausenderblock)	Aufgabenkarten
		

Die Einheitswürfel können u. a. bei Lehrmittelfirmen bestellt werden. Um mit einer Lerngruppe von 20 bis 30 Schülerinnen und Schülern arbeiten zu können, sollte ein Satz von 1000 Einheitswürfeln (ca. 30 €) und evtl. ein kompletter Satz aus 100 Einheitswürfeln, 10 Zehnerstäben, 10 Hunderterplatten und einem Tausenderwürfel (ca. 40 €) vorhanden sein. Diese Sets eignen sich auch, um z. B. Größenverhältnisse und Grundrechenarten (speziell für den Zehnerübergang) einzuführen und zu üben.

Des Weiteren werden Holzquader benötigt, welche (z. B. mit Hilfe der Fachschaft Technik) passend zugeschnitten werden. Mit den in der Tabelle dargestellten Maßen haben wir gute Erfahrungen machen können:

1. Holzstück mit den Maßen:  $8 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} \cdot 2 \text{ cm}$
2. Holzstück mit den Maßen:  $6 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm}$
3. Holzstück mit den Maßen:  $4 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm}$
4. Holzstück mit den Maßen:  $28 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm}$

#### Aufgabenkarten

Die ausgedruckten Aufgabenkarten werden mit den benötigten Einheitswürfeln und Holzstücken zusammen in einen transparenten Beutel verpackt. Zunächst sollten alle Schülerinnen und Schüler die Einheitswürfel zum Nachbauen oder zum Erstellen von Quadern/Würfeln nutzen. Die Lehrkraft sollte darauf achten, dass die Schülerinnen und Schüler die Handlungsebene nicht vorschnell verlassen, sondern erst mit gefestigtem Vokabular und sicherer mentaler Handlung eine

Stufe höher steigen. Der Übergang von der Handlungsebene auf ikonische oder symbolische Ebenen erfolgt daher abhängig von den beobachteten Ergebnissen. Dabei sollte eine systematische Verschriftlichung der eigenen Ergebnisse, z. B. durch eine Tabelle, angeregt werden.

Zu Beginn der Unterrichtseinheit müssen die Grundkenntnisse der Schülerinnen und Schüler aktiviert bzw. aufgefrischt werden. Den Lernenden sollten Streckenlängen und Flächen als ausgelegte Quadrate bekannt sein. Anschließend muss der Einheitswürfel als Würfel mit dem Volumen eines Kubikzentimeters vorgestellt und erläutert werden.

Mit dem Problemaufwurf „Wenn ich dieses Holzstück aus Einheitswürfeln nachbaue, aus wie vielen Würfeln besteht es?“ (vgl. Abbildung 9) können die Schülerinnen und Schüler die Anzahl schätzen und Vermutungen als Hypothese aufstellen. Zur Überprüfung nutzen sie das Material und die Aufgabenkarte 1. Anschließend sollte eine Sicherung im Plenum aus zwei Gründen stattfinden:

#### Problemaufwurf

1. Es beeindruckt die Schülerinnen und Schüler, wenn sie ihre abgezählten (64) Einheitswürfel mit ihrer vorab festgehaltenen Vermutung vergleichen; die Spanne zwischen den beiden Maßzahlen ist oftmals sehr groß.
2. Die Lernenden sollen zu einem gemeinsamen Vokabular zur Beschreibung des Volumens<sup>8</sup> gelangen. Darüber hinaus kann die Vereinfachung des Abzählens thematisiert werden.

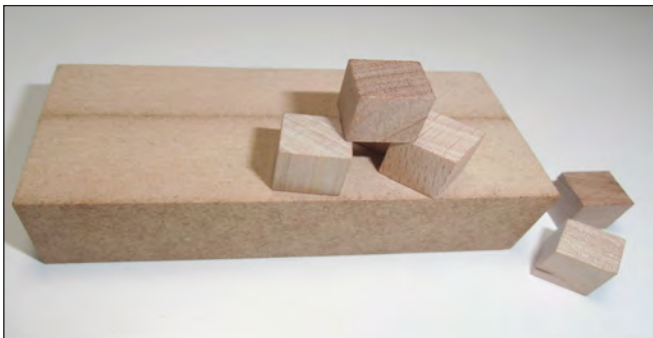


Abbildung 9: Holzquader für den Einstieg

Im nächsten Schritt (Abbildung 10) werden zwei verschiedene Quader miteinander verglichen, deren Rauminhalt gleich groß ist. Vielen Schülerinnen und Schülern gelingt es in dieser Phase nicht, bei verschieden aussehenden Quadern auf das gleiche Volumen zu schließen. Durch das Nachbauen der beiden Quader und das Abzählen der Einheitswürfel gelangen sie zu einer Vorstellung von Volumina, die ihnen bei der Lösung dieser Aufgabe hilft. Die weiteren Aufgaben bauen inhaltlich darauf auf. Hier sollte von den Schülerinnen und Schülern erkannt werden, dass das Produkt immer gleich bleibt und nur verschiedene volumengleiche Quader gezeigt werden. Algebraische Aspekte, wie die Zerlegung in Faktoren sowie verschiedene Rechengesetze (Kommutativ- und Assoziativgesetz), können hier zusätzlich thematisiert werden.

<sup>8</sup> Volumen = Rauminhalt, wobei für die Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Begriff ‚Rauminhalt‘ verwendet wird, damit das Grundverständnis zum Rauminhalt aufgebaut werden kann.

2. Aufgabe:

Welches der beiden Holzstücke besteht aus mehr Einheitswürfeln?



Stelle deine Vermutung über den jeweiligen *Rauminhalt* (das Volumen) auf und überprüfe deine Vermutung mit Hilfe der Einheitswürfel.

Abbildung 10: Aufgabenkarte 2

**Zusammenhänge**

Aufgabenkarte 5 (Abbildung 11) dient dem Aspekt, aus einer vorgegebenen Anzahl von Einheitswürfeln in den Reihen und Schichten Rückschlüsse auf das Volumen zu ziehen. Wenn die Zusammenhänge zwischen dem Rauminhalt und der Anzahl der Einheitswürfel pro Reihe, der Anzahl der Reihen und der Anzahl der Schichten erfasst worden sind, reicht es häufig aus, lediglich drei Kanten des Quaders nachzubauen. Ebenso nutzen die Schülerinnen und Schüler ihre selbst hergeleitete Formel, überprüfen deren Gültigkeit und können ihre Vorstellungen eng mit der Formel verknüpfen.

5. Aufgabe:

Bei einem Quader liegen fünf Einheitswürfel in einer Reihe, es gibt drei Reihen und vier Schichten.

- Ermittle die Kantenlängen des Quaders.
- Wie groß ist der Rauminhalt dieses Quaders? Beschreibe deinen Lösungsweg.
- Fertige ein Schrägbild dieses Quaders an.



*Tippkarte*

Abbildung 11: Aufgabenkarte 5

**Lösungswege erklären**

Zur Überprüfung des Verständnisses ist es wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler ihren Lösungsweg erklären, beschreiben bzw. darstellen. Eine Skizze mit den Einheitswürfeln, in der die Anordnung der Reihen und Schichten erkennbar ist, ist ebenso ein vollständig richtiger Lösungsweg. In dieser Aufgabe findet schon eine weitere Ergänzung statt, da die Schülerinnen und Schüler in der dritten Teilaufgabe ein Schrägbild von ihrem Quader zeichnen sollen. Das Zeichnen von Schrägbildern ist im Kernlehrplan schon in Jahrgangsstufe 6 verankert (MSJK, 2004, S. 21). Hier ist es sinnvoll, Tippkarten anzubieten, um bei Bedarf das Anfertigen der Schrägbilder zu unterstützen. Die weiteren Aufgabenkarten 6 bis 8 mit vorgegebener Anzahl von Einheitswürfeln bieten Möglichkeiten zur Festigung und Reflexion, da Lösungsschritte und Fachbegriffe wiederholt angewandt werden müssen. Die Schülerinnen und Schüler sollen erklären können, dass der Körper einen bestimmten Raum einnimmt bzw. ausfüllt. Wenn es in dieser Phase noch Schwierigkeiten gibt, kann das Ergänzungsmaterial (Abbildung 12, eine von drei ergänzenden Aufgabenkarten) genutzt werden, bevor die Schülerinnen und Schüler sich ab der Aufgabenkarte 9 systematisch mit Aufgaben zum Volumen von Würfeln auseinandersetzen.



★ **Aufgabe:**  
 Baue aus der vorgegebenen Anzahl von Einheitswürfeln einen Quader, so dass möglichst wenig Einheitswürfel übrig bleiben.

a) Beschreibe die Quaderform.  
 b) Notiere deine Berechnung für den Rauminhalt (das Volumen).




Abbildung 12: Ergänzungskarte 1

Da die Begriffe Quader und Würfel im Schulalltag oftmals verwechselt werden, muss in dieser Arbeitsphase der Würfel als Sonderfall eines Quaders thematisiert werden. Durch das Nachbauen von immer größer werdenden Würfeln und das damit verbundene Berechnen der Rauminhalte erfahren die Schülerinnen und Schüler die Eigenschaften eines Würfels (Abbildung 13). Die Berechnung der Rauminhalte wird bei allen Aufgabenkarten niemals auf „Länge mal Breite mal Höhe“ reduziert, sodass die Vorstellungskraft nach dem Schichtenmodell immer weiter angeregt wird. Um sich auf eine gemeinsame Schreibweise zu einigen, sollte die Schreibweise  $V = 4 \text{ cm}^3 \cdot 4 \cdot 4 = 64 \text{ cm}^3$  (vgl. Tabelle 2) bevorzugt werden. So erkennen die Schülerinnen und Schüler, dass die Anzahl der Einheitswürfel in einer Reihe, die Anzahl der Reihen und die Anzahl der Schichten gleich sind. Das „Rückwärtsdenken“<sup>9</sup> wird in einigen Aufgabenkarten schon trainiert und kommt auch bei dem Würfel wieder zur Anwendung. In der weiterführenden Aufgabenkarte kann durch Ausprobieren herausgefunden werden, dass der gesuchte Würfel aus vier Einheitswürfeln in einer Reihe, aus vier Reihen und vier Schichten besteht. Einige Schülerinnen und Schüler werden eventuell durch das Zerlegen in gleiche Faktoren zu einer Lösung kommen. Das Beschreiben der Vorgehensweise ist erneut besonders wichtig.

Rückwärtsdenken

9. **Aufgabe:**  
 Baue mit den Einheitswürfeln einen kleinen Würfel.

a) Wie viele Einheitswürfel benötigst du?  
 b) Notiere deine Berechnung für den Rauminhalt (das Volumen).  
 c) Wie viele Einheitswürfel benötigst du, wenn du einen größeren Würfel bauen willst?  
 d) Notiere deine Berechnung für den Rauminhalt (das Volumen) und vergleiche die beiden Berechnungen.





Abbildung 13: Aufgabenkarte 9

Die letzte Aufgabenkarte (Abbildung 14) dient zur Überprüfung und Festigung des Wissens. Durch das Zerlegen in gleiche Faktoren und das Beschreiben der Vorgehensweise zur Bestimmung des Volumens kann die Lehrkraft überprüfen, wie sicher die Vorstellungskraft eines Würfels und seines Volumens vorhan-

9 Das heißt, man findet ausgehend von dem Volumen die Anzahl der Einheitswürfel in Reihen und Schichten.

12. Aufgabe:  
Ein Würfel hat das Volumen von  $27 \text{ cm}^3$ .



- Wie viele Einheitswürfel müssen in einer Reihe liegen? Beschreibe deine Vorgehensweise.
- Wie viele Einheitswürfel liegen in der unteren Schicht?
- Wie viele Einheitswürfel sind auf der rechten Seite zu sehen?
- Zeichne ein Schrägbild zu diesem Würfel.

Abbildung 14: Aufgabenkarte 12

den ist. Das Betrachten der unteren Schicht und der Seitenansicht bietet eine erste Vorstellung des Flächeninhalts der Grund- und der Seitenflächen: Gleiche Kantenlängen führen zu gleichen Flächeninhalten. Mit Hilfe der Schrägbilder wird eine Vorstellung entwickelt, wie die Einheitswürfel bei einem Würfel angeordnet sein müssen. Durch das Zeichnen des Schrägbilds wird der Würfel als geometrischer Körper verinnerlicht.

Am Ende dieser Unterrichtsreihe sollten alle Schülerinnen und Schüler ausreichende Grundvorstellungen zur Volumenberechnung haben und eine einheitliche Schreibweise nutzen (Tabelle 2). Zu thematisieren ist schließlich der Übergang zu gebrochenrationalen Längen, das Prinzip ist aber durchaus zu übertragen.

Tabelle 2: Vereinbarte Schreibweise zur Volumenberechnung von Quadern

$V =$	Anzahl der Einheitswürfel in einer Reihe	$\cdot$	Anzahl der Reihen	$\cdot$	Anzahl der Schichten	$=$	Rauminhalt
Beispiel:							
$V =$	$8 \text{ cm}^3$	$\cdot$	5	$\cdot$	2	$=$	$80 \text{ cm}^3$

Die Unterrichtseinheit bietet die Chance zur Weiterarbeit bezüglich der Raumeinheiten und der im Kernlehrplan (MSJK, 2004, S. 30) verankerten inhaltsbezogenen Kompetenzen. Da die Schülerinnen und Schüler im Jahrgang 9/10 im Bereich der Geometrie das Volumen weiterer Körper berechnen müssen, ist die Grundvorstellung zugleich Voraussetzung für die weiteren Unterrichtsinhalte. Wenn die Grundvorstellung mit der Grundsicht aus Einheitswürfeln und der

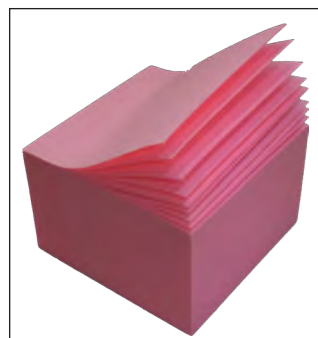


Abbildung 15: Schichtenmodell eines Würfels

Anzahl der deckungsgleichen Schichten vorhanden ist, besteht die Möglichkeit, mit einem einfachen quadratischen Block (Abbildung 15) von den Einheitswürfeln der Kantenlänge 1 cm das Teilen der Einheitswürfel zu veranschaulichen. Der Bezug ist hierbei die Grundfläche und die Anzahl der deckungsgleichen Schichten. Den Schülerinnen und Schülern fällt es dadurch leichter, das Volumen von Dreiecksprismen und Zylindern zu berechnen, da sie Bezug zu der Grundsicht nehmen.

## Erfahrungsbericht und Evaluation

Die entwickelte Unterrichtsreihe wurde in zwei Lerngruppen durchgeführt und weiterentwickelt. Die durchführenden Kolleginnen und Kollegen beobachteten bei den Schülergruppen eine hohe Motivation. Zudem fand das Material auf dem SINUS-Kongress im Oktober 2016 bereits große Anerkennung. Anhand eines Fragebogens haben wir die Schülerinnen und Schüler zu den Materialien, ihrem Arbeitsverhalten und ihrem Lernzuwachs befragt. Die Auswertung zeigt, dass die Materialien gut strukturiert und verständlich sind. Des Weiteren konnten die Schülerinnen und Schüler laut ihren Aussagen selbstständig mit den Materialien arbeiten.

### Lernzuwachs

Im zweiten Teil des Fragebogens wurde u. a. die Frage gestellt: „Was hat dir an der Unterrichtsreihe gut gefallen, was war für dich und deinen Lernzuwachs besonders wichtig?“ Einige der durchweg positiven Antworten sind ein Indiz dafür, was den Schülerinnen und Schülern besonders geholfen hat:

- „Ich fand es gut, dass ich durch die Aufgaben gelernt habe, wie man das Volumen eines Würfels oder Quaders beschreibt.“
- „Mit den Materialien konnte man viel besser arbeiten. Ich habe es mit den drei Quadern vor Augen viel besser verstanden.“
- „Man konnte sich durch die Würfel es oft besser vorstellen als ohne und es hat mir zumindest geholfen, die Schrägbilder zu zeichnen.“
- „Mir hat der Unterricht gut gefallen, weil ich finde, dass Volumenberechnung wichtig ist.“
- „Mir hat das Bauen des Quaders Spaß gemacht und das Rechnen auch.“

Anhand der Mitschriften der Lerngruppe zeigt sich jedoch, dass einige Grundvorstellungen nicht vollständig aufgebaut wurden. Offensichtlich wurde das Schichtenmodell nicht oder nicht angemessen verinnerlicht und es fiel schwer, das Grundmodell schriftlich festzuhalten. Die unterrichtende Lehrkraft sollte daher noch stärker das Schichtenmodell thematisieren, auf der vereinbarten Schreibweise beharren und regelmäßig verbale und schriftliche Begründungen einfordern. Ebenso ist es sinnvoll, mit der Lerngruppe eine gemeinsame Darstellung der Ergebnisse zu erarbeiten. Auswertungen der Schülerprodukte zeigen, dass das Abzählen z. T. zwar früh vereinfacht werden kann, dennoch sollte auch auf ein gemeinsames Vokabular und eine gleiche Schreibweise geachtet werden. Anhand der Rückmeldungen ist erkennbar, dass die Unterrichtsreihe gut angenommen wurde. Einige Schülerinnen und Schüler konnten sich durch das Nachbauen der Quader und Würfel den Rauminhalt besser vorstellen und erschließen.

### Schichtenmodell

Auffallend war, wie unterschiedlich die Lernenden mit dem Material und dem Nachbauen der Quader umgingen (Abbildung 16). Diese Heterogenität einer Lerngruppe muss im Plenum aufgenommen und je nach Ziel der Differenzierung

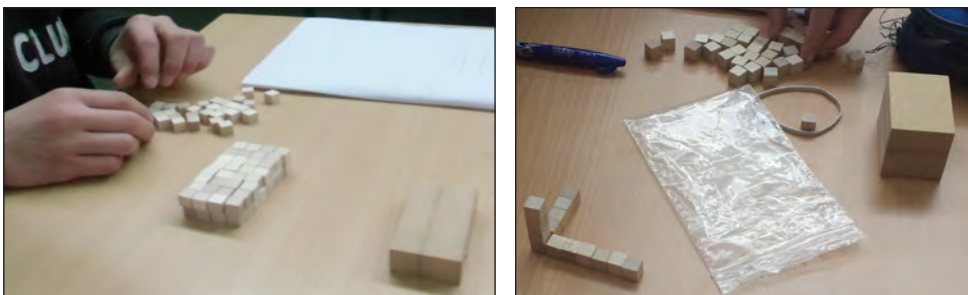


Abbildung 16: Der Umgang mit dem Material – zwei unterschiedliche Lösungsansätze

unterschiedlich behandelt werden. Der Fokus muss dabei zum Aufbau einer Grundvorstellung der Volumenberechnung auf dem Schichtenmodell liegen.

Trotz anfänglicher Skepsis (bzgl. des Hantierens mit Einheitswürfeln) wurde immer wieder zum Lernen am Modell zurückgegriffen. Vor allem die Rückmeldungen der lernschwachen Schülerinnen und Schüler überzeugten, dass das praktische Arbeiten ein gut geeigneter Weg zum Aufbau von Grundvorstellungen ist, um darauf aufbauend weiterführende Lerninhalte zu erschließen. Auch Schülerinnen und Schüler der höheren Jahrgänge nahmen diese praktische Erfahrung gerne an und ließen sich auf das Arbeiten mit Anschauungsmaterialien ein.

### Hilfsmittel Formelsammlung – sinnvolle Ergänzung im Unterricht

Formelsammlungen als Hilfsmittel im Unterricht – aber auch in Prüfungssituationen – zu nutzen, fällt leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern nicht immer leicht. Die auf den Seiten der Standardsicherung NRW bereitgestellte Formelsammlung<sup>10</sup> ist inhaltlich komprimiert und greift neben den notwendigen Formeln für den Grundkurs zusätzlich Themen und Inhalte auf, die gemäß den jeweiligen Kernlehrplänen erst auf erhöhtem Niveau im Erweiterungskurs relevant sind. In Grundkursen beobachtete Schwierigkeiten ergeben sich vermutlich sowohl aus der inhaltlichen Fülle, als auch aus dem unterschiedlichen Einsatz der Formelsammlung im Unterricht. Innerhalb des SINUS-Projekts wurden daher beide Fragestellungen verfolgt:

#### Fragestellungen

- 1) Wie kann eine Formelsammlung speziell für die Schülerinnen und Schüler im Grundkurs aussehen?
- 2) Wie kann die Formelsammlung im Unterricht genutzt werden, um daraus das Verständnis zu fördern und zugleich den zielgerichteten Umgang mit Formelsammlungen zu üben?

### Verständnisorientierung auch in der Formelsammlung

Aus der ersten Fragestellung resultiert ein Vorschlag für eine Formelsammlung, welche die Grundvorstellungen aktiviert und auch wesentliche Schritte auf dem Weg zum Verstehen der Inhalte und Konzepte illustriert. Als Prinzip werden wiederkehrende Strukturen deutlich hervorgehoben, die von den Schülerinnen und Schülern beim Nutzen der Formelsammlung auch angewandt werden müssen.

Die stets wiederkehrende Struktur der Prismen unterstützt auch den Aufbau und die Erweiterung der Grundvorstellungen zum Volumen und der Verallgemeinerung als einfache Volumenformel:  $V = G \cdot h_k$ . Lediglich die Grundflächen unterscheiden sich in ihrer Form, und der Inhalt der Grundfläche kann aus dem Bereich „Ebene Figuren“ herausgesucht werden. Die geometrischen Körper werden zusätzlich um deren Netze erweitert: Neben den Grundvorstellungen zum Volumen unterstützen diese den systematischen Aufbau der Körper und stellen Strukturen zur Berechnung von Oberflächen und Teilflächen bereit. Die in der Zeichnung verwendeten Formelzeichen werden mit der Fachsprache in Bezug gesetzt, sodass deren Bedeutung auch auf einer anderen Ebene zugänglich und mit der Anschauung verknüpft wird. Einheitlich werden Körperhöhen mit  $h_k$  bezeichnet, um die häufig beobachteten Verwechslungen mit den Höhen der Seitenflächen zu vermeiden. Erfahrungen aus dem Unterricht weisen darauf hin,

<sup>10</sup> <https://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/cms/zentrale-pruefungen-10/faecher/fach.php?fach=41>.

dass der sinnvolle Einsatz von Indizes durchaus auch von den leistungsschwächeren Lernenden erfolgreich angewendet wurde.

Prozent- und Zinsrechnung										
<b>Prozentrechnung</b>										
Grundwert: $G \hat{=} 100\%$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Anteil</th> <th>Größe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 %</td> <td>G</td> </tr> <tr> <td>1 %</td> <td><math>\frac{G}{100}</math></td> </tr> <tr> <td>p %</td> <td>W</td> </tr> </tbody> </table>	Anteil	Größe	100 %	G	1 %	$\frac{G}{100}$	p %	W	<b>Prozentsätze zur Orientierung</b> 1 % = $\frac{1}{100}$ = 0,01 5 % = $\frac{1}{20}$ = 0,05 10 % = $\frac{1}{10}$ = 0,1 25 % = $\frac{1}{4}$ = 0,25 33,3 % = $\frac{1}{3}$ = 0,3 50 % = $\frac{1}{2}$ = 0,5 100 % = $\frac{100}{100}$ = 1
Anteil		Größe								
100 %		G								
1 %		$\frac{G}{100}$								
p %	W									
$G = \frac{W}{p\%}$	$\cdot 100$ (links), $: 100$ (rechts)									
Prozentsatz: $p\% = \frac{p}{100}$	$\cdot p$ (links), $\cdot p$ (rechts)									
$p\% = \frac{W}{G}$										
Prozentwert: $W$										
$W = G \cdot p\%$										

Abbildung 17: Prozentrechnung – vorgeschlagene Änderungen zur Formelsammlung

In allen Bereichen der Formelsammlung wurde überprüft, ob neben dem symbolisch-formalen Aspekt weitere Zugänge sinnvoll zu ergänzen sind. Als Beispiel soll hier der Abschnitt zur Prozentrechnung dienen, der um ein illustrierendes Streifendiagramm erweitert wird und mit den Fachbegriffen zusätzlich die sprachliche Ebene anregt (Abbildung 17). Eine wesentliche Lösungsstrategie für Schülerinnen und Schüler, die einen Hauptschulabschluss anstreben, ist das sichere Anwenden des Dreisatzes bei Prozentrechenaufgaben. Die Formelsammlung greift zugleich durch die tabellarische Darstellung deren besondere Bedeutung zur Strukturierung von Zusammenhängen auf.

### Einführung und Einsatz der Formelsammlung im Unterricht

Es ist notwendig, dass die Schülerinnen und Schüler die Formelsammlung regelmäßig im Unterricht und in den Klassenarbeiten nutzen. Dazu bietet es sich an, die Formelsammlung mit den Schülerinnen und Schülern gemeinsam zu entwickeln und weiterzuführen. Mit der Einführung der Formelsammlung in der Jahrgangsstufe 8 wurden gute Erfahrungen gesammelt.

Zu Beginn des Unterrichtsthemas „Flächeninhalte und -umfänge“ können mit einer zunächst unvollständigen Formelsammlung Begriffe und Vorstellungen der „Ebenen Figuren“ wiederholt werden. In dem dargestellten Beispiel sind lediglich das Quadrat und Rechteck eingezeichnet und die beiden Formeln zu Flächeninhalt und Umfang eines Quadrats notiert (Abbildung 18). Weitere Abschnitte noch nicht behandelte ebener Figuren sind als Leerfelder vorhanden,

„Flächeninhalte und -umfänge“

Ebene Figuren	
<b>Quadrat</b> Flächeninhalt: $A = a \cdot a = a^2$ Umfang: $u = 4 \cdot a$	
<b>Rechteck</b> Flächeninhalt: $A = a \cdot b$ Umfang: $u = 2 \cdot a + 2 \cdot b$	

Abbildung 18: Einführung der Formelsammlung am Beispiel vom Quadrat und vom Rechteck

sodass die endgültige Struktur der Formelsammlung bereits ersichtlich ist. Die Schülerinnen und Schüler markieren zunächst die Variable  $a$  und die Seiten des Quadrats in der gleichen Farbe. Analog zum Quadrat werden die beiden Formeln für das Rechteck selbstständig ergänzt und Variablen und Seiten passend farbig hervorgehoben. Die ebenen Figuren Parallelogramm, Dreieck und Trapez werden im Anschluss eigenhändig von den Schülerinnen und Schülern in die jeweiligen Leerfelder eingetragen, d.h., die Flächen werden gezeichnet, die Formeln strukturgleich zum Rechteck und Quadrat notiert und ebenso farblich markiert (Abbildung 19).

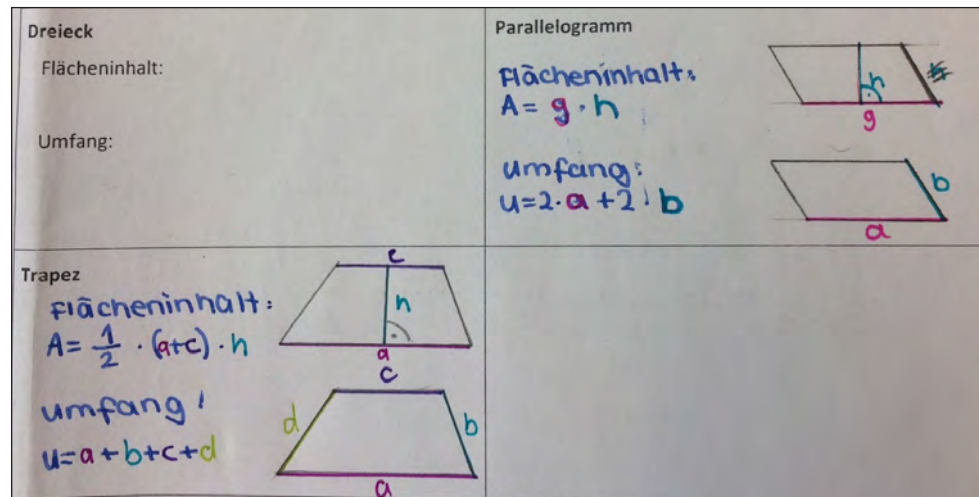


Abbildung 19: Einführung der Formelsammlung am Beispiel von weiteren Ebenen Flächen

Es stellte sich in der Unterrichtserprobung heraus, dass die Zeichnungen z.T. nicht ordentlich gelangen, vor allem wenn die zu zeichnenden Figuren sehr klein waren. Als differenzierende Alternative wurden in diesem Fall Ausschnitte zum Einkleben vorbereitet, sodass lediglich Beschriftungen und Markierungen vorzunehmen waren (Abbildung 20).

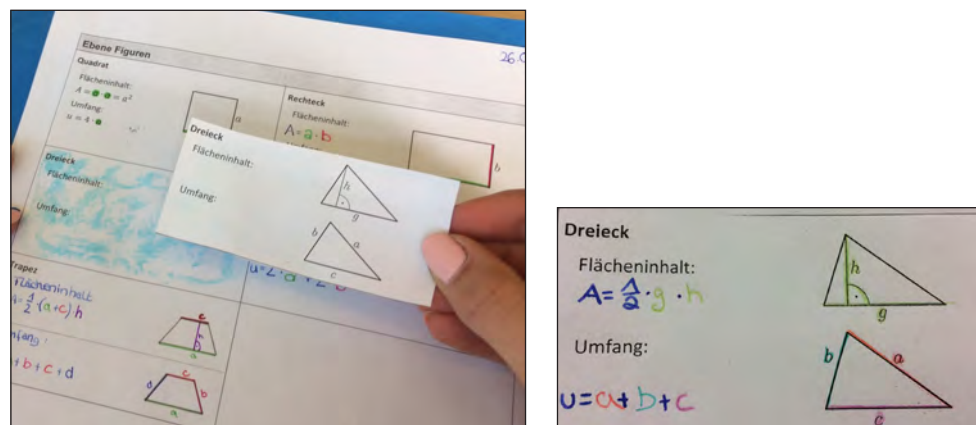


Abbildung 20: Differenzierungsmöglichkeit anhand von kopierten Ausschnitten

Bei der Unterrichtsreihe „Prismen“ in der Jahrgangsstufe 10 wurde mit den bekannten Körpern Würfel und Quader ebenso an bestehendes Wissen angeknüpft und es wurden entsprechend dem Unterrichtsfortschritt in die Leerfelder kopierte Zeichnungen der Prismen mit den Überschriften der Formeln eingeklebt. Die Formeln wurden im Unterricht handschriftlich ergänzt. Binnendifferenzierend können Formeln zum Teil bereits eingefügt vorgegeben sein, sodass lediglich die Zuordnung von Variablen und Seiten durch farbliche Markierungen vorgenommen werden muss.

„Prismen“

Ergänzend wurde im Unterricht der Arbeitsauftrag gegeben, passende Aufgaben zu den Formeln zu erstellen. Diese von den Schülerinnen und Schülern entwickelten Aufgaben können wiederum als Fundus für die Übungsphase oder zur Vorbereitung von Klassenarbeiten genutzt werden.

### 3. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Perspektiven

Der Alltag in Mathematik-Grundkursen an Haupt- und Gesamtschulen ist von vielfältigen Problemlagen geprägt. Bereits der Austausch zwischen Lehrkräften hat den meisten Lehrerinnen und Lehrern geholfen, sich diesen Herausforderungen zu stellen und alternative Ideen im Umgang damit im Unterricht auszuprobieren. So wurde schnell klar, dass sich diese Probleme auf viele Kurse, Schulen und Lehrkräfte erstrecken. Daher ist eine entscheidende Botschaft dieses Projektes: „Du bist nicht allein!“ Gewinnbringend sind hierbei insbesondere die Kommunikation und der Austausch von Lehrkräften verschiedener Schulen und Schulformen.

Austausch

Gerade der Umgang mit leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern muss sehr sensibel gestaltet werden. Die Lernenden benötigen ein Vertrauensverhältnis, damit sie sich öffnen können und so überhaupt eine Grundlage für ein fachliches Lernen ermöglicht wird. Um dieses Vertrauensverhältnis aufzubauen, muss die Lehrkraft die Schülerinnen und Schüler in jeder Situation ernst nehmen, immer wieder zur Weiterarbeit ermutigen und positive Entwicklungen zeitnah zurückmelden. Eine klare und kontinuierliche Struktur des Unterrichts ist dabei hilfreich.

Wenn diese Grundlage geschaffen ist und schülernahe sowie relevante Kontexte bearbeitet werden (siehe S. 35f. „Was kostet das Leben?“), so zeigen die Projektergebnisse, kann fachliches Lernen und damit der Kompetenzerwerb auch in den Jahrgangsstufen 9 und 10 gestärkt werden. Ein regelmäßiges Wiederholen von fachlichen Inhalten (siehe S. 40 „Kopfübungen“) wird von den Schülerinnen und Schülern schnell akzeptiert, da sich nach einem kurzen Zeitraum Erfolge einstellen. Grundvorstellungen, die bereits schon seit Jahren vorhanden sein sollten, müssen oftmals in den oberen Jahrgangsstufen neu aufgebaut und weiterentwickelt werden (siehe S. 44f. „Volumenberechnung“). Die Arbeit mit der von den Schülerinnen und Schülern entwickelten Formelsammlung kann Akzente für den Unterricht setzen (siehe S. 52 „Hilfsmittel Formelsammlung“). Durch die Fokussierung auf wesentliche Inhalte werden notwendige Zusammenhänge und Strukturen transparenter und erkennbarer. Die Formelsammlung lässt sich aufgrund ihrer Struktur gut in den Unterricht integrieren. Nach ihrer Einführung und Verwendung im Unterricht bietet sie gerade leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern auf Dauer ein bekanntes Konzept für die Berechnung von unterschiedlichen Größen.

Projektergebnisse

## Anregungen

Alle Materialien verstehen sich nicht als fertige Unterrichtsmaterialien, die direkt in neuen Lerngruppen eingesetzt werden können. Sie sind als Anregungen für den eigenen Unterricht gedacht und sollen zur Adaption einladen. Gerade diese Anpassung von Inhalten, von Niveaus und von Kontexten an die eigene Lerngruppe ist dabei von besonderer Bedeutung. Durch Weiterentwicklung und den Austausch über erfolgreiche und auch nicht erfolgreiche Ideen kann ein großer Beitrag zur Schul- und Unterrichtsentwicklung geleistet werden.

Beim Ministerium für Schule und Bildung wurde angeregt, die im Rahmen des Projekts entwickelte Formelsammlung auf dem Anforderungsniveau Hauptschulabschluss nach Klasse 10 – neben der vorhandenen Formelsammlung – im Internetangebot ‚Zentrale Prüfungen 10‘ zum Download anzubieten.<sup>11</sup>

## Literatur

- Blum, W., Roppelt, A. & Müller, M. (2012). Kompetenzstufenmodelle für das Fach Mathematik. In H. A. Pant, P. Stanat, U. Schroeders, A. Roppelt, T. Siegle & C. Pöhlmann (Hrsg.), *IQB-Ländervergleich 2012: mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (S. 61–73). Münster: Waxmann.
- Bruder, R. (2008). Üben mit Konzept. *Mathematik lehren* (147), 4–11.
- Droeke-Noe, C., Möller, G., Pallack, A., Schmidt, S., Schmidt, U., Sommer, N. & Wynands, A. (2011). *Basiskompetenzen Mathematik. Für Alltag und Berufseinstieg am Ende der allgemeinen Schulpflicht*. Berlin: Cornelsen.
- Griesel, H. (1996). Grundvorstellungen zu Größen. *Mathematik lehren* (78), 15–19.
- KMK = Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2004). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Mittleren Schulabschluss*. München: Wolters Kluwer.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2011). *Kernlehrplan und Richtlinien für die Hauptschule Mathematik in Nordrhein-Westfalen* (Bd. 3203). Düsseldorf: Ritterbach.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013). *Analysen und Hinweise zur Bearbeitung ausgewählter Aufgaben der Zentralen Prüfungen 10 Mathematik auf der Grundlage der Ergebnisrückmeldung 2010 bis 2012*. Soest, Düsseldorf.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2016). *Lernstandserhebungen in Klasse 8 – Allgemeine Informationen und Ergebnisse des Durchgangs 2016 in NRW*. Düsseldorf.
- MSJK = Ministerium für Schule, Jugend und Kinder des Landes Nordrhein-Westfalen (2004). *Kernlehrplan für die Gesamtschule Mathematik – Sekundarstufe I* (Bd. 3106). Düsseldorf: Ritterbach.
- Qualitäts- und Unterstützungsagentur – Landesinstitut für Schule NRW (2015). *Landesweite Ergebnisse der Zentralen Prüfungen am Ende der Klasse 10 (ZP10)*. Verfügbar unter [https://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/cms/upload/zp10/berichte/ZP10\\_Ergebnisbericht\\_2015.pdf](https://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/cms/upload/zp10/berichte/ZP10_Ergebnisbericht_2015.pdf) [24.10.2017].
- Roß, J. (2015). *Fachdidaktische Rückmeldungen zu den zentralen Prüfungen am Ende der Jgst. 10 (ZP10) im Fach Mathematik*. Qualitäts- und Unterstützungsagentur – Landesinstitut für Schule NRW, Arbeitsbereich 5, Soest.
- Roß, J. & Besuch, N. (2016). *Fachdidaktische Rückmeldungen zu den zentralen Prüfungen am Ende der Jgst. 10 (ZP10) im Fach Mathematik*. Qualitäts- und Unterstützungsagentur – Landesinstitut für Schule NRW, Arbeitsbereich 5, Soest.
- Wartha, S. (2010). Aufbau von Grundvorstellungen: ein Förderkonzept. In Gesellschaft für Didaktik der Mathematik (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht* (S. 911–914). München.

<sup>11</sup> Seit Ende Mai 2018 stehen überarbeitete Versionen der Formelsammlung auf den Seiten des Schulministeriums zum Download bereit: <https://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/cms/zentrale-pruefungen-10/faecher/>



## Projektgruppe

### Set-Mitglieder:

Ralph Pittius, Anne-Frank-Gesamtschule Gütersloh  
Rolf Brockmann, Friedrich Wilhelm Murnau-Gesamtschule Bielefeld  
Peter Langhammer, Friedrich Wilhelm Murnau-Gesamtschule Bielefeld  
Klara Kolcov, Hauptschule Maßbruch  
Heike Kortekamp, Hauptschule Maßbruch  
Sadettin Gül, Gesamtschule Quelle Bielefeld  
Frederik Suchla, Gesamtschule Quelle Bielefeld  
Jeanette Fuhrmann, Karla-Raveh-Gesamtschule Lemgo  
Irina Keller, Karla-Raveh-Gesamtschule Lemgo  
Reto Friedli, Laborschule Bielefeld  
Lisa Schwerdfeger, Laborschule Bielefeld  
Ramona Kahlmeier, Laborschule Bielefeld  
Fatma Caglar, Martin-Niemöller-Gesamtschule Bielefeld  
Babette Gerode, Peter-August-Böckstiegel-Gesamtschule Borgholzhausen  
Johannes Gerdiken, Sekundarschule Borchten  
Ulrike Debus, Käthe-Kollwitz-Gesamtschule Lünen  
Michaela Hetman, Käthe-Kollwitz-Gesamtschule Lünen  
Kirsten Schrieber, Schule am Windmühlenberg Werne  
Tim Heptner, Hauptschule Kamen  
Ludger Kloer, Werner-von-Siemens-Gesamtschule Unna  
Daniel Thätner, Werner-von-Siemens-Gesamtschule Unna  
Christina Funke, Josef-Reding-Schule Holzwickede  
Bernd Geisenhofer, Josef-Reding-Schule Holzwickede

### Projektkoordination:

Dirk Bresinsky, QUA-LiS NRW (bis 07/2016)  
Annett Veit, Peter-August-Böckstiegel-Gesamtschule Borgholzhausen (seit 08/2016)

### Projektleitung:

Rainer Altmann, Gustav-Heinemann-Gesamtschule Dortmund (bis 01/2016)  
Dieter Schluckebier, QUA-LiS NRW (bis 07/2016)  
Dirk Bresinsky, QUA-LiS NRW (seit 08/2016)



Susann Dreibholz, Ulrich Hoffert und Andreas Büchter

# Unterrichtskonzepte für die gymnasiale Oberstufe – Erprobte Ideen zur Umsetzung des Mathematikernlehrplans in Nordrhein-Westfalen

Im Rahmen dieses SINUS-Projekts wurden Unterrichtskonzepte und -sequenzen entwickelt, mit denen der kompetenzorientierte Kernlehrplan für die gymnasiale Oberstufe in NRW (MSW, 2014)<sup>1</sup> zeitgemäß umgesetzt werden kann. Dabei wurde am Beispiel des grafikfähigen Taschenrechners insbesondere auch die obligatorische Nutzung von digitalen Werkzeugen berücksichtigt.

digitale  
Werkzeuge

Entstanden sind Unterrichtssequenzen aus sämtlichen Inhaltsfeldern des Kernlehrplans, sowohl für die Einführungsphase als auch für Leistungs- und Grundkurse in der Qualifikationsphase. Alle entwickelten Unterrichtssequenzen wurden in der Praxis erprobt und bei Bedarf überarbeitet. Die Materialien können Lehrkräften in der gymnasialen Oberstufe Anregungen geben und sie unterstützen, einen kompetenz- und verstehensorientierten Mathematikunterricht zu planen, durchzuführen und zu reflektieren. Zu diesem Zweck werden in den vorliegenden Materialien die im Unterricht direkt einsetzbaren Arbeitsblätter durch Anmerkungen, die bei der Unterrichtsplanung hilfreich sein können, sowie didaktische und methodische Hinweise ergänzt. Die jeweiligen Unterrichtssequenzen sind direkt an den schulinternen Beispiellehrplan (QUA-LiS NRW, 2014)<sup>2</sup> angebunden.

Wissenschaftliche Beratung und Unterstützung erhielt die Projektgruppe durch Prof. Dr. Andreas Büchter von der Universität Duisburg-Essen (Fakultät für Mathematik, Arbeitsbereich Didaktik der Mathematik).

## 1. Projektbeschreibung

Ausgangspunkt dieses Projektes war der Gedanke, auf der Basis des Kernlehrplans Mathematik SII (MSW, 2014) Unterrichtssequenzen für die gymnasiale Oberstufe zu entwickeln und in der Praxis zu erproben, bei denen folgende Aspekte Berücksichtigung finden sollten:

- Prozessbezogene Kompetenzen im Fokus der Unterrichtsgestaltung
- Konzepte für einen kumulativen Kompetenzerwerb
- Förderung des selbstregulierten Arbeitens von Schülerinnen und Schülern
- Sinnstiftender Einsatz eines grafikfähigen Taschenrechners

Im Hinblick auf den Bildungsauftrag des Mathematikunterrichts in der gymnasialen Oberstufe stellt neben einem kumulativen Kompetenzerwerb auch die inhaltli-

1 <https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-ii/gymnasiale-oberstufe/mathematik>.

2 Ebd. unter „Hinweise und Beispiele“.

che und prozessbezogene Verstehensorientierung einen weiteren zentralen Aspekt in der Projektarbeit dar.

In einigen Unterrichtssequenzen sind bereits veröffentlichte gelungene Ideen und Ansätze vorausgegangener SINUS-Projekte weiterentwickelt (vgl. Pallack et al., 2007<sup>3</sup>; Hoffert, 2013) und an die Rahmenbedingungen der aktuellen Kernlehrpläne angepasst worden. Alle Materialien wurden an mehreren Schulen erprobt. Die dort gesammelten Erfahrungen wurden genutzt, um die erstellten Materialien weiterzuentwickeln und hilfreiche Hinweise zur Umsetzung zu geben. Diese finden sich dann in den didaktischen Kommentaren zu den einzelnen Unterrichtssequenzen.

[www.sinus.nrw.de](http://www.sinus.nrw.de)

Die angefertigten Unterrichtssequenzen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Alle dargestellten Unterrichtssequenzen aus diesem Projekt stehen auf der Internetseite [www.sinus.nrw.de](http://www.sinus.nrw.de) als Download zur Verfügung. Die entwickelten Unterrichtssequenzen können als Bausteine den eigenen Unterricht anreichern und ergänzen. Vorschläge zur Integration in entsprechende Unterrichtsreihen werden jeweils dargestellt.

Exemplarisch wird in diesem Kapitel aus den drei Inhaltsfeldern („Funktionen und Analysis“, „Analytische Geometrie und lineare Algebra“, „Stochastik“) jeweils eine Unterrichtssequenz vorgestellt. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle kurz gesetzt.

Die Unterrichtssequenzen werden im anschließenden Kapitel in der Regel mit folgenden Punkten vorgestellt:

- Kurzbeschreibung der Unterrichtssequenz
- Prozessorientierte Schwerpunkte
- Didaktische Hinweise
- Einordnung in die Reihenplanung
- Einführende Problemstellung
- Materialbeispiele

---

3 Dank gilt vor allen Dingen den Autorinnen und Autoren des Kapitels „Kumulation statt Flächeninhalt – mit verschiedenen Kontexten in die Integralrechnung“. In: Pallack, A. et al. (2007), Impulse für den Mathematikunterricht in der Oberstufe – Konzepte und Materialien aus dem Modellversuch. (MSW, Hrsg.)

Tabelle 1: Übersicht über die erarbeiteten Unterrichtssequenzen

Stufe	Unterrichtssequenz	Lehrplanthema <sup>4</sup>	Inhaltsfeld
EF	Von der durchschnittlichen zur lokalen Änderungsrate	E-A2	Analysis
	<i>Die Entdeckung der Ableitungsfunktion über die rechnergestützte Erfassung von Tangentensteigungen</i>	E-A4	Analysis
	Funktionsuntersuchungen	E-A4	Analysis
	Den Zufall im Griff – Modellierung von Zufallsprozessen	E-S1	Stochastik
Q	Funktionen beschreiben Formen – Modellieren von Sachsituationen mit ganzrationalen Funktionen	Q-LK-A2	Analysis
	Von der Änderungsrate zum Bestand. Von der Randfunktion zur Integralfunktion	Q-LK-A3/4	Analysis
	<i>Die Welt vermessen – das Skalarprodukt und seine ersten Anwendungen</i>	Q-LK-G2	Analytische Geometrie
	Von stochastischen Modellen, Zufallsgrößen, Wahrscheinlichkeitsverteilungen und ihren Kenngrößen.	Q-LK-S1	Stochastik
	Ableitung der Exponentialfunktion	Q-GK/LK-A5	Analysis
	<i>Stochastische Prozesse</i>	Q-GK-S4 Q-LK-S6	Stochastik
	Normalverteilung	Q-LK-S4	Stochastik

## 2. Unterrichtssequenzen

### Analysis – Die Entdeckung der Ableitungsfunktion über die rechnergestützte Erfassung von Tangentensteigungen

Für das Lehrplanthema „Entwicklung und Anwendung von Kriterien und Verfahren zur Untersuchung von Funktionen“ (QUA-LiS NRW, 2014, S. 28f. (E-A4)) sind im SINUS-Projekt zwei Unterrichtssequenzen entwickelt worden. Die erste hat ihren Schwerpunkt in der Entdeckung der Ableitungsregeln für ganzrationale Funktionen mithilfe des grafikfähigen Taschenrechners und wird im Folgenden dargestellt, die zweite beschäftigt sich mit der verstehensorientierten Einführung von Elementen einer Funktionsuntersuchung.

**Ableitungsregeln  
für ganzrationale  
Funktionen**

#### Kurzbeschreibung der Unterrichtssequenz

Die Unterrichtssequenz beschreibt eine Möglichkeit, an einem einfachen Kontext die Ableitungsfunktion und daraus folgend die Ableitungsregeln für ganzrationale Funktionen zu entdecken. Der grafikfähige Taschenrechner unterstützt in dieser Sequenz die Vernetzung zwischen der anschaulichen Ebene mit den formalen Schreibweisen, verringert die Anzahl der sich wiederholenden Rechenschritte und hilft somit, den Blick auf die zu entdeckenden mathematischen Strukturen der Ableitungsregeln zu lenken. Über die grundlegenden Techniken des grafikfähigen Taschenrechners (GTR) hinausgehende Funktionen werden kleinschritt-

4 Diese Bezeichnungen orientieren sich am schulinternen Beispiellehrplan (QUA-LiS NRW, 2014).

tig und mit zahlreichen Screenshots dargestellt. Diese Techniken können von den Schülerinnen und Schülern z.T. nicht in schriftlichen Leistungsüberprüfungen verlangt werden, sondern beziehen sich ausdrücklich auf die vorgestellte Unterrichtssequenz.

#### Messwerterfassung

Der grafikfähige Taschenrechner wird zur Messwerterfassung der Tangentensteigungen genutzt, die durch Modellierung in die Darstellung des Graphen und der Funktionsgleichung der Ableitungsfunktion münden. Anhand der Ergebnisse einiger weniger so erstellter Ableitungsfunktionen können die Ableitungsregeln (Potenz-, Faktor-, Summenregel) erschlossen werden. Die innerhalb dieser Unterrichtssequenz erlangten Techniken können im weiteren Unterrichtsgang auch zur Bestimmung der Ableitungsfunktionen der trigonometrischen Funktionen genutzt werden.

Die Unterrichtssequenz gliedert sich in vier Abschnitte, die insgesamt ca. vier Unterrichtsstunden im Umfang von je 45 Minuten umfassen.

### Prozessorientierte Schwerpunkte

#### Einsatz des grafikfähigen Taschenrechners (GTR)

Die Nutzung des grafikfähigen Taschenrechners geht in dieser Sequenz über die normalen Routinetechniken hinaus. Durch die Verknüpfung von Darstellungsarten und die Möglichkeit des grafischen Messens von Steigungen wird der Prozess des entdeckenden Lernens vorbereitet.

#### Entdeckendes Lernen

Die Unterrichtssequenz ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, die Regeln zur Bestimmung der Ableitungsfunktion bei ganzrationalen Funktionen zu entdecken. Dabei werden die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler im Bereich „Argumentieren“ weiterentwickelt.

### Didaktische Hinweise

Die Betrachtung der Ableitung einer Funktion an einer Stelle – sei es funktional im Sinne der lokalen Änderungsrate oder geometrisch im Sinne der Steigung des Funktionsgraphen an dieser Stelle – ist nur dann interessant, wenn die lokale Änderungsrate bzw. die Steigung an anderen Stellen auch andere Werte annimmt. Andernfalls würde es sich um eine lineare Funktion handeln, sodass der Begriff der Steigung einer linearen Funktion genügen würde und der Begriff Ableitung nicht motiviert wäre. Die Betrachtung der Ableitungsfunktion ist von dieser Einsicht aus als umfassende Beschreibung der lokalen Änderungsrate bzw. der Steigung direkt naheliegend. Dabei ist aus Sicht der Schülerinnen und Schüler zunächst völlig offen, ob es einfache Zusammenhänge zwischen einer Funktion und ihrer Ableitungsfunktion gibt.

#### grafische Erkundung

In dieser Unterrichtssequenz wird mithilfe des grafikfähigen Taschenrechners im Unterricht ein Tool entwickelt, das eine grafische Erkundung des Zusammenhangs zwischen einer Funktion und ihrer Ableitungsfunktion ermöglicht. Die Schülerinnen und Schüler können dabei auf der Grundlage ihres Verständnisses der Steigung eines Funktionsgraphen an einer Stelle, die der Steigung der Tangente an den Funktionsgraphen in dem zugehörigen Punkt entspricht, erfahren und verstehen, wie der Graph der Ableitungsfunktion entsteht.

Die Schülerinnen und Schüler haben im Analysis-Unterricht bisher vor allem Erfahrungen im Umgang mit ganzrationalen Funktionen gesammelt, daher sind sie in der Lage, anhand des Graphen der Ableitungsfunktion selbstständig tragfähige Vermutungen zur Art der Ableitungsfunktion aufzustellen. Nach einer Konkretisierung der Gleichung der Ableitungsfunktion können die Zusammenhänge mit der Gleichung der Ausgangsfunktion systematisch untersucht werden. Die Gleichung der Ableitungsfunktion wird dabei ausgehend vom Graphen mittels einer Regression aufgestellt, die dabei als „Black Box“ mit dem GTR eingesetzt wird.

Bei der beschriebenen Unterrichtssequenz ist in der Regel eine Anleitung der Schülerinnen und Schüler bei der zielführenden Nutzung des grafikfähigen Taschenrechners erforderlich. Erfahrungsgemäß bearbeiten leistungsstärkere bzw. technisch versierte Schülerinnen und Schüler die vorgeschlagenen Aufgaben erheblich schneller. Es hat sich dann für alle Beteiligten als produktiv erwiesen, wenn jene als Expertinnen bzw. Experten zur Verfügung stehen.

### Einordnung in die Reihenplanung

Diese Unterrichtssequenz kann im Anschluss an die Einführung des Ableitungsbegriffes mithilfe des Differentialquotienten durchgeführt werden. Sinnvollerweise sollte auch das grafische Ableiten durch die Schülerinnen und Schüler beherrscht werden. Im Anschluss bietet es sich an mit Funktionsuntersuchungen zu beginnen. Ein möglicher Vorschlag ist ebenfalls innerhalb des SINUS-Projektes entwickelt worden (E-A4).

### Differentialquotient

UE	Sequenz	Material	Mögliche Arbeitsform	Zeit
1	„Romantisches Picknick mit Happy End?“ Messwerterfassung der Tangentensteigung mit dem GTR	M1, M2 (GTR)	Partnerarbeit	60
2	Rückbezug auf den Sachverhalt	M2	Gruppenarbeit	15
3	Untersuchung weiterer Funktionen, Ableitungsregeln	M3	Einzelarbeit	45
4	Formulierung der Ableitungsregeln, Anwendungsaufgaben	eingeführtes Schulbuch		45

### Die einführende Problemstellung

„Romantisches Picknick mit Happy End?“

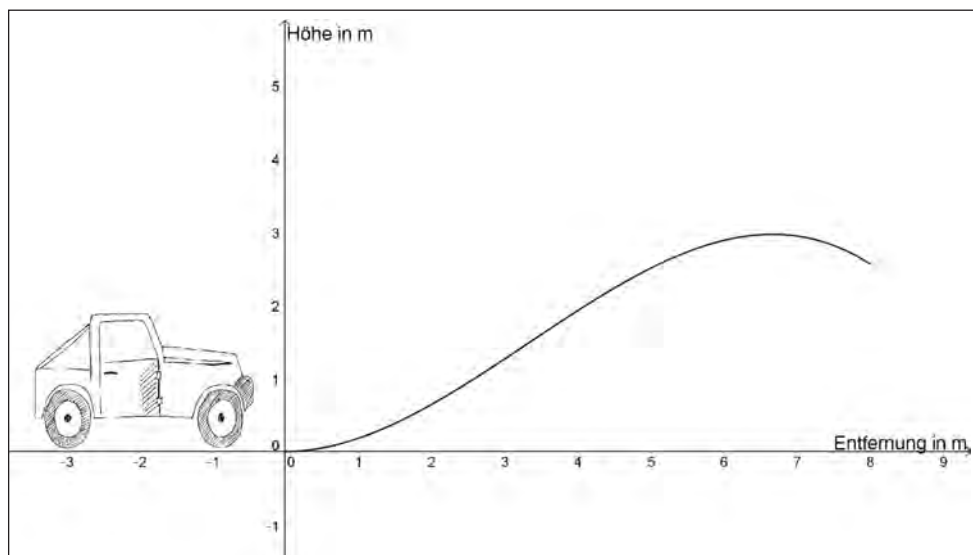


Abbildung 1: *Arbeitsblatt M1* ‚Picknick mit Happy End‘

Jan macht mit seiner Freundin Inga Urlaub in Italien. Um Abwechslung in den Strandurlaub zu bringen, leihen sie sich einen Geländewagen aus und machen eine Spritztour ins nahegelegene Gebirge. Nachdem sie in einem wildromantischen, einsamen Bachtal gepicknickt haben, wird ihnen bewusst, dass sie den unbefestigten, steilen Hügel auch wieder hochfahren müssen.

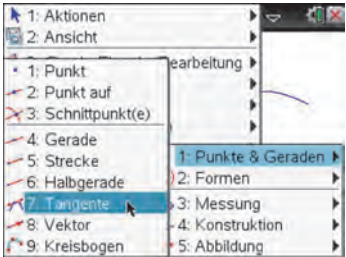
Der Geländewagen kann laut Herstellerangaben eine Steigung von 68 % auf unbefestigten trockenen Wegen überwinden. Das Geländeprofil wird durch die Funktion  $f$  mit der Gleichung  $f(x) = -0,02 \cdot x^3 + 0,2 \cdot x^2$  für  $0 \leq x \leq 8$  näherungsweise beschrieben (alle Angaben in m).

Entscheiden Sie, ob die beiden mit ihrem Auto steckenbleiben!



**Materialbeispiele**

- Konstruieren Sie die Tangente an den Graphen im erzeugten Punkt:  
 [menu], 8: *Geometrie*, 1: *Punkte & Geraden*, 7: *Tangente*,  
 bewegen Sie den Cursor zu dem Punkt und [enter], dann [esc].


- Sie können den Punkt jetzt mit [ctrl] [capture] ergreifen und entlang des Graphen bewegen.

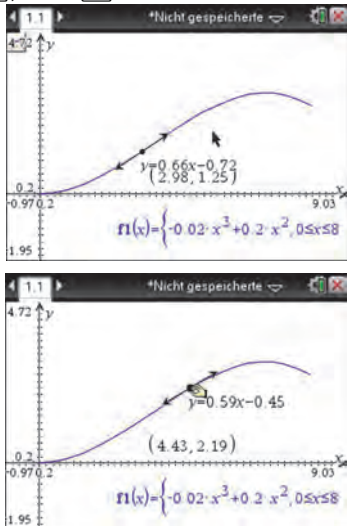
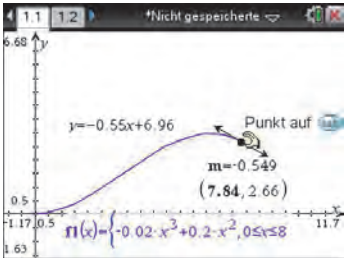
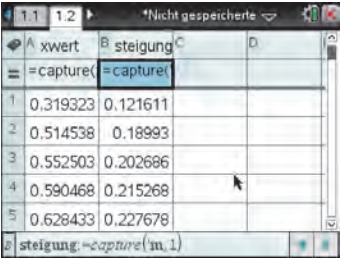


Abbildung 2: Arbeitsblatt M2 ‚Entdeckung der Ableitungsfunktion mithilfe des GTR‘ (Ausschnitt)

- Blättern Sie nun in Ihrem Dokument mit [ctrl] [left arrow] zurück auf die *Graphs*-Seite. Ergreifen Sie den Punkt mit [ctrl] [capture] und bewegen ihn vom Anfang bis zum Ende entlang der Kurve. Die Koordinaten werden erfasst und in der Tabelle in *Lists & Spreadsheet* eingefügt.


- Zur Darstellung der erfassten Werte fügen Sie Ihrem Dokument eine neue Seite hinzu: [ctrl] [doc] (+page), 5: *Data & Statistics*. Klicken Sie auf den unteren Rand und dann auf *xwert*. Am linken Rand klicken Sie dann auf *Steigung*.




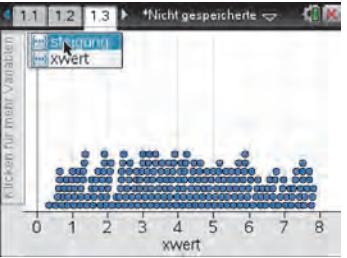
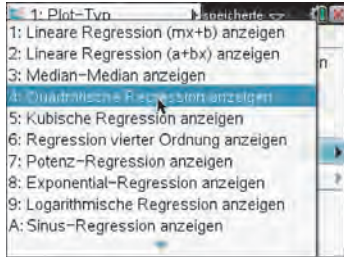
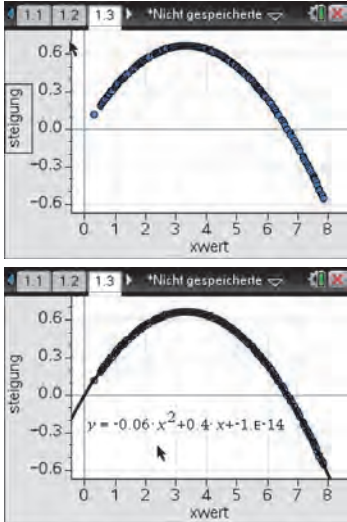
A	xwert	B	steigung	C	D
=	capture	=	capture		
1	0.319323		0.121611		
2	0.514538		0.18993		
3	0.552503		0.202686		
4	0.590468		0.215268		
5	0.628433		0.227678		
6	steigung: =capture(m,1)				
- 


Abbildung 3: Arbeitsblatt M2 ‚Entdeckung der Ableitungsfunktion mithilfe des GTR‘ (Ausschnitt)

4 Den Term der dargestellten Funktion können Sie mit menu, 4: *Analysieren*, 6: *Regression*, 4: *Quadratische Regression anzeigen* bestimmen lassen.

(Alternativ kann die Regression auch im Menü von *lists & spreadsheet* durchgeführt werden.)

- Der Term der dargestellten Funktion lautet also  $h(x) = -0,06x^2 + 0,4x$ . Der hinten noch erscheinende Wert beruht auf Rundungsfehlern des Rechners und ist zu vernachlässigen. ( $-1,0 \text{ E-}14 = -1,0 \cdot 10^{-14} = -0,00000000000001$ )

Abbildung 4: Arbeitsblatt M2 ‚Entdeckung der Ableitungsfunktion mithilfe des GTR‘ (Ausschnitt)

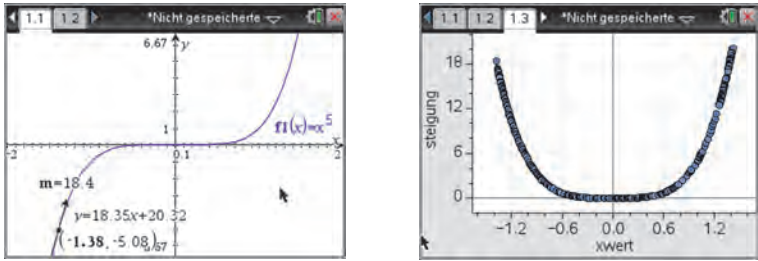
### M3 Untersuchung weiterer Funktionen

Ermitteln Sie mit dem gleichen Verfahren weitere „**Steigungsfunktionen**“, in der Mathematik **Ableitungsfunktionen** genannt, für die folgenden Funktionen.

Entscheiden Sie sich dabei selbstständig für eine geeignete Regression, nachdem Sie den Verlauf des Graphen der Ableitungsfunktion betrachtet haben. Wenn eine gewählte Regression nicht gut passt, versuchen Sie es mit einem anderen Funktionstyp z.B. höheren Grades. Beachten Sie die zu vernachlässigenden Rundungsfehler.

1)  $g(x) = x^5$

Auswahl einzelner Screenshots:



Die zugehörige Ableitungsfunktion lautet:  $g'(x) = \dots\dots\dots$

Abbildung 5: Arbeitsblatt M3 ‚Untersuchung weiterer Funktionen‘ (Ausschnitt)

## Die Welt vermessen – das Skalarprodukt und seine ersten Anwendungen

Als Grundlage dieser Sequenz dient das Vorhaben Q-LK-G2 des schulinternen Lehrplans (QUA-LiS NRW, 2014, S. 71f).

### Kurzbeschreibung der Unterrichtssequenz

Ausgehend von der Frage, ob sich zwei Geraden senkrecht schneiden, zeigt das vorliegende Unterrichtsbeispiel einen Weg auf, das Ergebnis des Skalarproduktes zweier Vektoren in diesem Zusammenhang als Entscheidungskriterium zu verwenden.

Anschließend wird das Skalarprodukt – unter Ausnutzung des Kosinussatzes – für die Berechnung des Winkels zwischen zwei Vektoren eingesetzt. Für den GTR wird eine Funktion erstellt, die den Winkel zwischen zwei Vektoren direkt bestimmt.

**Kosinussatz**

Der angebotene Kontext nutzt die Tatsache, dass sich die Schülerinnen und Schüler im Vorhinein bereits mit Schnittproblemen von Geraden im Zusammenhang mit Flugbahnen von Flugzeugen intensiv und systematisch auseinandergesetzt haben.

Das Unterrichtsbeispiel kann sowohl im Grundkurs als auch im Leistungskurs eingesetzt werden, im Leistungskurs sollten sich vertiefende Fragestellungen bzgl. der vom vorliegenden Kontext losgelösten geometrischen Interpretation des Skalarproduktes anschließen (z. B. bei der Betrachtung von Projektionen oder im Sachzusammenhang der physikalischen Arbeit).

### Prozessorientierte Schwerpunkte

#### Argumentieren

Die Schülerinnen und Schüler präzisieren Vermutungen mithilfe von Fachbegriffen und stellen Zusammenhänge zwischen Begriffen her. Sie nutzen mathematische Regeln bzw. Sätze und sachlogische Argumente für Begründungen und überprüfen, inwiefern Ergebnisse, Begriffe und Regeln verallgemeinert werden.

### Didaktische Hinweise

Das Inhaltsfeld „Lineare Algebra und Analytische Geometrie“ ist im Mathematikunterricht nicht selten durch aufwendige und fehleranfällige Rechnungen dominiert. Die vorgeschlagene Unterrichtssequenz soll neben der Entwicklung von Rechenverfahren zum Messen (von Längen, Abständen und Winkeln) vor allem die Raumschauung (Bedeutung der Perspektive), das Koordinatisieren und das Argumentieren fördern.

**Raumschauung**

Mit dem Skalarprodukt wird die vektorielle Geometrie, die aus der Einführungsphase bekannt ist und mit der Geraden und Ebenen als Grundfiguren dargestellt werden können, um ein mächtiges Werkzeug zum Messen ergänzt. Für die Charakterisierung von Orthogonalität sowie die Längen- bzw. Abstandsberechnung wird dabei direkt auf den Satz des Pythagoras zurückgegriffen. Bei der Winkelberechnung muss ggf. zunächst der Kosinussatz (als Verallgemeinerung des Satzes des Pythagoras für nicht rechtwinklige Dreiecke) hergeleitet werden.

Insgesamt wird in dieser Unterrichtssequenz intensiv an die ebene Geometrie der Sekundarstufe I angeschlossen. Schülerinnen und Schüler erfahren, dass algebraische Darstellungsformen zur Untersuchung geometrischer Zusammenhänge sinnstiftend genutzt werden können. Sie können dabei die ge-

nannten Messverfahren angeleitet herleiten und argumentativ absichern. Die verwendeten Unterrichtsmaterialien ermöglichen dabei eine angemessene Binnendifferenzierung.

Die ersten Erkundungen in dieser Unterrichtssequenz gehen der Frage nach, wie überprüft werden kann, ob zwei Vektoren orthogonal zueinander sind. Erst nach der rechnerischen Charakterisierung, bei der der Satz des Pythagoras zur Anwendung kommt, wird das Skalarprodukt als neue Verknüpfung zwischen zwei Vektoren eingeführt, die nun bereits eine anschauliche und inhaltliche Bedeutung hat. Anschließend wird das Skalarprodukt teilweise losgelöst vom ursprünglichen Kontext weiter untersucht.

Die Unterrichtssequenz wurde mehrfach im Unterricht, sowohl im Grundkurs wie auch im Leistungskurs, umgesetzt. Es eröffnet sowohl vom motivierenden, anschaulichen Kontext als auch von der variantenreichen Methodik her den Schülerinnen und Schülern zahlreiche Lernmöglichkeiten in den angesprochenen Kompetenzbereichen.

### Einordnung in die Reihenplanung

Vor dieser Unterrichtssequenz sollte man sich im Unterricht typischerweise mit Lagebeziehungen von Geraden und Ebenen beschäftigt haben.

UE	Sequenz	Material	Mögliche Arbeitsform	Zeit (min)
1	Ein Zeichen für Ned Flanders	M1	Einzelarbeit / Partnerarbeit	67,5
2	Orthogonale Vektoren	M2	Partnerarbeit	67,5
3	Beweisführung zur Orthogonalität	M3	Gruppenarbeit	67,5
4	Winkelberechnungen	M4	Partnerarbeit	67,5

### Die einführende Problemstellung



Abbildung 6: Das göttliche Zeichen

#### Das göttliche Zeichen

**NED FLANDERS:** Hadelidaddeliduddeli. Es ist ein Zeichen. Zwei göttliche Strahlen, die sich genau im rechten Winkel über unserer Kirche schneiden.

**REVEREND LOVEJOY:** So ein Quatsch, Ned. Erstens sind das Kondensstreifen von Flugzeugen und zweitens kann man von hier unten gar nichts über den Winkel sagen ...

**NED FLANDERS:** Sie zweifeln am göttlichen Zeichen, Reverend.

**REVEREND LOVEJOY:** Nein, Ned, nur an dir ...

**NED FLANDERS:** Ich beweise Ihnen, dass ich Recht habe. Hadelidaddeliduddeli.

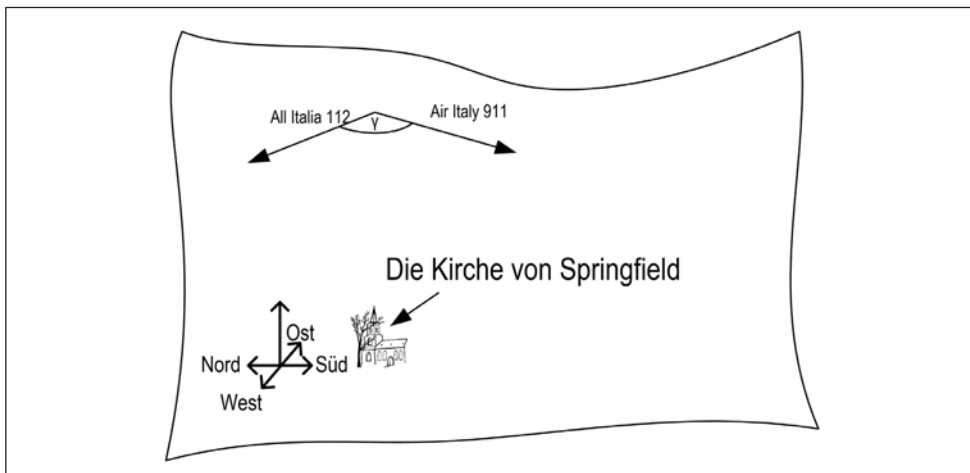


Abbildung 7: Karte von Springfield

Als Ned Flanders mit der Flugaufsicht von Springfield telefoniert, kann man ihm tatsächlich Informationen über zwei Flugzeuge liefern (Abbildung 6 und 7):

Flug *Allitalia 112* befand sich genau um 15:15 h in einer Höhe von 4 km über Springfields Kirche. Flug *Allitalia 112* flog zu diesem Zeitpunkt pro Minute 4 km in westliche, 2 km in nördliche Richtung und stieg um 0,5 km.

Und auch Flug *Air Italy 911* war genau über die Kirche hinweg geflogen und das ebenfalls in einer Höhe von 4 km, allerdings 5 Minuten, nachdem Flug *Allitalia 112* über die Kirche geflogen war. Flug *Air Italy 911* legte zu diesem Zeitpunkt pro Minute 3 km in westliche, 3 km in südliche Richtung zurück und stieg um 0,5 km.

Ned denkt bei sich: Hadelidaddeliduddeli. Damit haben sich die Flugbahnen der Flugzeuge genau über meiner Kirche gekreuzt. Bleibt nur noch zu zeigen, dass es im rechten Winkel war! Hadelidaddeliduddeli!

Ned überlegt, was er tun kann: Zunächst wird er es allein versuchen. Wenn er jedoch alleine nicht mehr weiterkommen sollte, könnte er zunächst den Grundschulrektor Skinner bitten, ihm bei seinem mathematischen Problem zu helfen.

Und falls ihn dies immer noch nicht zum Ziel bringen sollte, wäre da noch Lisa Simpson. Auch diese hätte im Notfall sicher einen Tipp für ihn (Abbildung 8, 9 und 10).

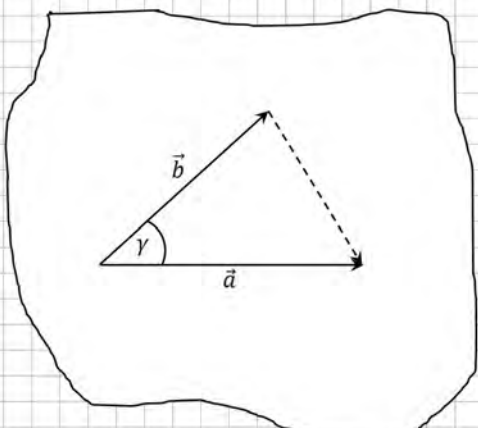
## Materialbeispiele

REKTOR SKINNER

REKTOR SKINNER: Nun, Ned, Sie wollen also den Winkel zwischen zwei Vektoren bestimmen.

NED: So ist es.

REKTOR SKINNER: Nun, wie das geht, weiß ich auch nicht. Aber ich zeichne immer Dreiecke, wenn ich ein Problem habe, das ich nicht lösen kann. In einem Dreieck erscheint auf einmal alles so einfach...



LISA SIMPSON

LISA SIMPSON: Mmmmh, ein Dreieck, Vektoren, Winkel. Das erinnert mich an die erste Klasse ...

NED: Lisa, kannst du mir nun helfen oder nicht?

LISA SIMPSON: Ach, wissen Sie Mr. Flanders, interessant ist doch eigentlich nur, dass der Vektor  $\vec{c}$  der Verbindungsvektor von  $\vec{b}$  nach  $\vec{a}$  ist.

NED: Du willst also sagen ...

LISA SIMPSON: Um es mit ihren Worten zu sagen: Pythagorididdelidulleli ...

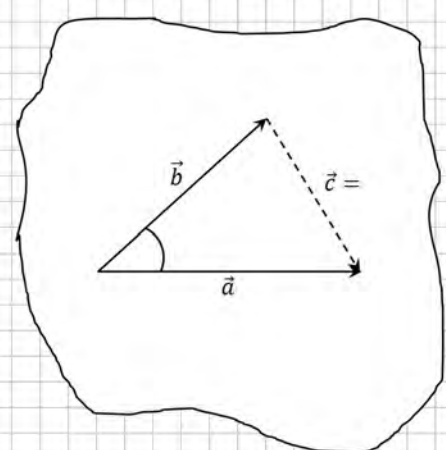


Abbildung 8: Arbeitsblatt 1 ‚Winkel zwischen Vektoren‘ (Hilfekarten)

Aufgabe:

- Finden Sie zu jedem Vektor mindestens zwei orthogonale Vektoren. Lesen Sie die Koordinaten dieser orthogonalen Vektoren ab.
- Untersuchen Sie sowohl die vorgegebenen, als auch die von Ihnen gefundenen Vektoren. Beschreiben Sie die Zusammenhänge und versuchen Sie eine Regel zu verfassen, wann Vektoren senkrecht zueinander sind.
- Erstellen Sie weitere Vektoren und überprüfen Sie Ihre vermutete Regel.

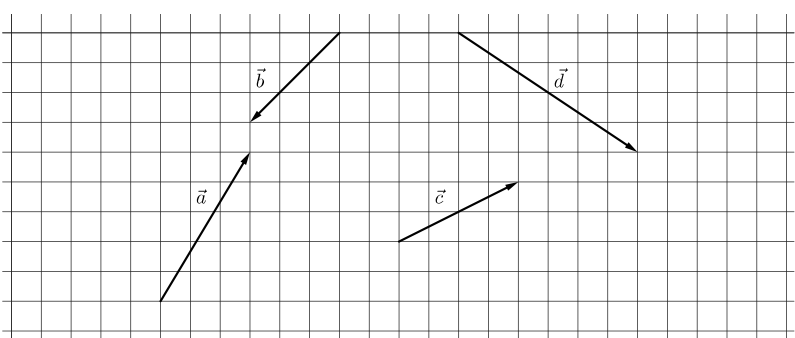


Abbildung 9: Arbeitsblatt ‚orthogonale Vektoren‘

**Arbeitsblatt 3** (Beweiskarten)

Die Beweisschritte werden in einzelne Schnipsel zerschnitten und zunächst nur zum Teil zur Verfügung gestellt. Je nach Leistungsstärke erhalten die Schülerinnen und Schüler zunächst nur grüne oder nur grüne und gelbe Schnipsel.

Kommen die Schülerinnen und Schüler nicht weiter, können sie sich weitere Beweisschnipsel nehmen. Leistungsstärkere führen den Beweis selbstständig und Leistungsschwächere können ihn nachvollziehen.

1	$ \vec{a} ^2 +  \vec{b} ^2 =  \vec{b} - \vec{a} ^2$
2	$\left(\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2}\right)^2 + \left(\sqrt{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}\right)^2 =  \vec{b} - \vec{a} ^2$
3	$a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = \left(\sqrt{(b_1 - a_1)^2 + (b_2 - a_2)^2 + (b_3 - a_3)^2}\right)^2$
4	$a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = (b_1 - a_1)^2 + (b_2 - a_2)^2 + (b_3 - a_3)^2$
5	$a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = b_1^2 - 2 \cdot b_1 a_1 + a_1^2 + b_2^2 - 2 \cdot b_2 a_2 + a_2^2 + b_3^2 - 2 \cdot b_3 a_3 + a_3^2$
6	$\cancel{a_1^2} + \cancel{a_2^2} + \cancel{a_3^2} + \cancel{b_1^2} + \cancel{b_2^2} + \cancel{b_3^2} = \cancel{b_1^2} - 2 \cdot b_1 a_1 + \cancel{a_1^2} + \cancel{b_2^2} - 2 \cdot b_2 a_2 + \cancel{a_2^2} + \cancel{b_3^2} - 2 \cdot b_3 a_3 + \cancel{a_3^2}$
7	$0 = -2 \cdot b_1 a_1 - 2 \cdot b_2 a_2 - 2 \cdot b_3 a_3$
8	$0 = -2 \cdot (b_1 a_1 + b_2 a_2 + b_3 a_3)$
9	$0 = b_1 a_1 + b_2 a_2 + b_3 a_3$

Abbildung 10: Arbeitsblatt ‚Skalarprodukt‘

## Von stochastischen Modellen, Zufallsgrößen, Wahrscheinlichkeitsverteilungen und ihren Kenngrößen

Als Grundlage dieser Sequenz dient das Vorhaben Q-LK-G2 des schulinternen Lehrplans (QUA-LiS NRW, 2014, S. 82).

### Kurzbeschreibung der Unterrichtssequenz

Die Unterrichtssequenz beschreibt eine Möglichkeit an einem realitätsbezogenen Kontext die Kenngrößen der Statistik (Mittelwert, empirische Standardabweichung) und Wahrscheinlichkeit (Erwartungswert, Standardabweichung) zu erarbeiten und in die Thematik der Binomialverteilung einzusteigen. Die erste Unterrichtseinheit (Kenngrößen und Wahrscheinlichkeitsverteilung) ist für mindestens fünf Unterrichtsstunden zu je 45 Minuten ausgelegt. Es sollte sich nach dem Bedarf des Kurses eine weitere Übungsstunde anschließen. Die zweite Unterrichtseinheit (Binomialverteilung) ist für mindestens vier Doppelstunden von jeweils 90 Minuten geplant.

#### GTR-Funktionen

In den vorgestellten Unterrichtseinheiten wird der GTR genutzt. Dabei sollten in der ersten Unterrichtseinheit Mittelwert/Erwartungswert/(empirische) Standardabweichung zunächst händisch berechnet werden, bevor an geeigneten Stellen die entsprechenden GTR-Funktionen erläutert und eingesetzt werden. Alternativ kann auch ein Tabellenkalkulationsprogramm verwendet werden. In der zweiten Unterrichtseinheit findet der GTR durchgehend Verwendung.

### Prozessorientierte Schwerpunkte

#### Einsatz des grafikfähigen Taschenrechners (GTR)

Der Einsatz des grafikfähigen Taschenrechners entfaltet an dieser Stelle seine Wirkung als ‚Tabellenkalkulator‘ zur Verarbeitung größerer Datenmengen, was auf der einen Seite von den Schülerinnen und Schülern als entlastend wahrgenommen werden kann, auf der anderen Seite zusätzlich eine Kompetenzerweiterung im Umgang mit Datensätzen darstellt, im Idealfall als Vertiefung der bereits in der Sekundarstufe I erworbenen Werkzeugkompetenz.

#### Modellieren

Der Kontext bietet eine Möglichkeit, eine reale Situation sinnstiftend zu modellieren. Dabei steht besonders die Erarbeitung einer Lösung innerhalb des mathematischen Modells im Zentrum, wobei die Notwendigkeit entsteht, Fachbegriffe (Erwartungswert, Standardabweichung) und mathematische Konventionen einzuführen und zu verwenden.

### Didaktische Hinweise

Diese Unterrichtssequenz orientiert sich an der Absicht, Konzepte der Stochastik aus lebensweltlich relevanten Fragestellungen zu entwickeln. Damit sollen die Schülerinnen und Schüler vor allem dazu befähigt werden, die erlernten Konzepte flexibel in unterschiedlichen Situationen anzuwenden. Auch für die Einführung von Kenngrößen von Zufallsvariablen und der Binomialverteilung wird der für Oberstufenschülerinnen und -schüler relevante Kontext „Straßenverkehr“ genutzt. Durch die Verknüpfung von realem Kontext und mathematischer Darstellung können die stochastischen Fachbegriffe besonders gut illustriert werden, um auf Grundlage der bereits in der Einführungsphase erarbeiteten Konzepte Grundvorstellungen von Zufallsgrößen, Wahrscheinlichkeitsverteilungen und den



Kenngößen Erwartungswert und Standardabweichung weiter auszudifferenzieren.

Zwar setzt diese Unterrichtssequenz voraus, dass die Schülerinnen und Schüler bereits Zufallsgrößen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen kennengelernt haben, es sollte aber dennoch berücksichtigt werden, dass das Konzept der Zufallsgröße recht abstrakt ist. Letztlich handelt es sich um eine Funktion, die Elementen der Ergebnismenge reelle Zahlen zuordnet. Derartige mathematische Objekte sind in der Regel zuvor nicht explizit betrachtet worden. Schwierigkeiten, die Schülerinnen und Schüler im Zusammenhang mit dem hier vorgeschlagenen Unterrichtsgang haben, können also eher durch das vorausgesetzte Konzept der Zufallsgröße begründet sein. In diesem Fall ist eine Wiederholung und Vertiefung im Kontext der aktuellen Aufgaben empfehlenswert. Der unvollständig ausgearbeitete Begriff kann durch das gut erfassbare Beispiel an dieser Stelle ausgeschärft werden.

Bei der Entwicklung der Kenngrößen von Zufallsgrößen (Erwartungswert und Standardabweichung) kann konsequent auf Vorerfahrungen aus der beschreibenden Statistik (arithmetisches Mittel und empirische Standardabweichung) zurückgegriffen werden; die entsprechenden Konzepte werden nun wahrscheinlichkeits-theoretisch gedacht und entwickelt. Dabei ist es relevant, dass der prinzipielle Unterschied zwischen Wahrscheinlichkeiten und relativen Häufigkeiten noch einmal reflektiert wird, da er in einer späteren Unterrichtssequenz zur beurteilenden Statistik eine wesentliche Rolle spielt.

Beurteilende  
Statistik

Eine weitere wichtige Perspektive bei dieser Unterrichtssequenz ist die der Variabilität in Verteilungen. So wie es bei Datenreihen nicht genügt, sich nur das arithmetische Mittel anzuschauen, ist es bei Zufallsgrößen zu kurz gedacht, wenn man ihre Verteilung nur mit dem Erwartungswert charakterisieren möchte. Zwei Verteilungen mit gleichem Erwartungswert können sehr unterschiedliche Gestalt haben, was sich häufig bereits an der Standardabweichung ablesen lässt. Insgesamt können Kenngrößen aber immer nur einen reduzierten Eindruck von Datenreihen bzw. Verteilungen ermöglichen.

Bei der Einführung und bei Anwendungen der Binomialverteilung sollte schließlich immer reflektiert werden, inwieweit die angenommene stochastische Unabhängigkeit (von Durchführung zu Durchführung des zugrunde liegenden Bernoulli-Experiments) der Situation angemessen ist. Bei vielen Anwendungen wird stochastische Unabhängigkeit angenommen, obwohl sie sich inhaltlich kaum begründen lässt.

### Einordnung in die Reihenplanung

Die Kenntnis der Begriffe der *Wahrscheinlichkeitsverteilung* und der *Zufallsgröße* wird vorausgesetzt. Es empfiehlt sich eine Unterrichtssequenz vorzuschalten, in der diese Begriffe intensiv behandelt werden. Anbieten würde sich zum Beispiel die Betrachtung der Augensumme beim Wurf mit zwei Würfeln.

UE	Sequenz	Material	Mögliche Arbeitsform	Zeit
1	Wiederholung der Grundbegriffe der Statistik	M1	Einzelarbeit / Partnerarbeit / Plenum	45
2	Einführen der empirischen Standardabweichung	M2.1 M2.2 Übungsaufgaben aus eingeführtem Schulbuch	Einzelarbeit / Partnerarbeit / Plenum	90–135
3	Einführung der Standardabweichung und des Erwartungswertes	M3	Einzelarbeit / Partnerarbeit / Plenum	45
4	Übungseinheit zur Vertiefung der erlangten Kompetenzen	Übungsaufgaben aus eingeführtem Schulbuch		45

UE	Sequenz	Material	Mögliche Arbeitsform	Zeit
1	Einstieg in die Binomialverteilung	M4	Einzelarbeit / Partnerarbeit / Plenum	90
2	Übungseinheit zur Vertiefung der erlangten Kompetenzen	Übungsaufgaben aus eingeführtem Schulbuch		45–90
3	Erwartungswert, Standardabweichung und Varianz der Binomialverteilung	M5	Einzelarbeit / Partnerarbeit / Plenum	90
4	Übungseinheit zur Vertiefung der erlangten Kompetenzen	Übungsaufgaben aus eingeführtem Schulbuch		45–90

## Die einführende Problemstellung

### *Streit um Raserei*

*Gleisheim.* In den vergangenen Jahren ist oft Ärger über die Raser auf dem Stadtring laut geworden. Daher hat die Polizei am 28. Februar ihren Radarwagen dort aufgestellt und innerhalb einer halben Stunde die Geschwindigkeiten gemessen.

„Mehrheitlich halten sich die Verkehrsteilnehmer an die Verkehrsregeln!“, unterstreicht der bei einem Gespräch anwesende Vertreter der Stadt. Ein Sprecher der Anwohner äußert hingegen sofort Widerspruch mit seiner Überzeugung: „Die gefahrene Geschwindigkeit ist durchschnittlich zu hoch!“

Laut wurde es, als ein Autofahrer aus dem Publikum sich zu Wort meldete und schimpfte: „Wegen eines Rasers werden alle über einen Kamm geschoren! Abgesehen von diesem Spinner sind wir doch durchschnittlich nicht zu schnell gewesen!“ Hier widersprach ein Vertreter der Polizei. Er wies darauf hin, dass es zwei Fahrer waren, die wegen Geschwindigkeitsüberschreitung erwischt wurden.



Abbildung 11:  
Geschwindigkeitsbeschränkung

Die Ergebnisse der Messungen										
Uhrzeit	08:02	08:05	08:15	08:15	08:16	08:16	08:17	08:17	08:18	08:19
Geschwindigkeit (in km/h)	49	50	90	49	48	50	51	49	50	48
Uhrzeit	08:21	08:23	08:23	08:24	08:25	08:27	08:29	08:30	08:30	08:31
Geschwindigkeit (in km/h)	54	52	51	48	51	48	50	52	49	50

### Information

Bei stationären Blitzern werden 3 km/h Toleranz bei Messungen unter 100 km/h abgezogen, bei allen Messungen über 100 km/h kommen 3 % der gemessenen Geschwindigkeit zum Abzug.

### Aufgabe

Für alle Aussagen lassen sich Belege in den Zahlen finden. Unterstützen Sie jede der getroffenen Aussagen mit jeweils einem mathematischen Argument.

## Materialbeispiele

### Zum Einsatz von M2

Anhand der Thematik „Richtgeschwindigkeit auf deutschen Autobahnen“ sollen die Schülerinnen und Schüler mithilfe eines Datensatzes schrittweise an die Berechnung der empirischen Standardabweichung herangeführt werden.

**Standard-  
abweichung**

Die Erarbeitung erfolgt anhand zweier Messreihen, von denen die erste eine wesentlich geringere Streuung aufweist als die zweite.<sup>5</sup> Dies ermöglicht die Interpretation der berechneten Werte für die Standardabweichung und Varianz. Es bietet sich die Methode des Partnerpuzzles mit anschließender Diskussion im Plenum an.

Diskussion im Plenum unter Berücksichtigung folgender Fragestellungen:

- Diskussion, warum der Mittelwert von  $x_i - \bar{x} = 0$  ist
- Notwendigkeit des Quadrierens von  $x_i - \bar{x}$  (Berücksichtigung der Ausreißer)
- Herleitung der Formel zur Berechnung der empirischen Standardabweichung mithilfe der absoluten Häufigkeit  $[s = \sqrt{\frac{1}{n}((x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2)}]$
- Berechnung der empirischen Standardabweichung für den gegebenen Datensatz
- Vergleich der linearen Abweichung mit der empirischen Standardabweichung (Gewichtung der Ausreißer)
- Interpretation der Standardabweichung und Varianz durch Vergleich der Werte für beide Datenreihen (Alltagssituation zu den gegebenen Messreihen finden)

<sup>5</sup> Exemplarisch wird hier nur die erste dieser Messreihen dargestellt.

## M2.1

**Richtgeschwindigkeit auf deutschen Autobahnen**

Die Richtgeschwindigkeit auf deutschen Autobahnen beträgt 130 km/h. Höhere Geschwindigkeiten führen häufiger zu erhöhtem Unfallrisiko.

Somit ergibt sich die Fragestellung, wie sehr sich die Autofahrer auf deutschen Autobahnen an diese Richtgeschwindigkeit halten.

Beispielhaft soll dieser Frage mit folgenden 10 Messwerten auf den Grund gegangen werden.

a) Füllen Sie die gegebene Tabelle spaltenweise aus.



$i$	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$ x_i - \bar{x} $	$(x_i - \bar{x})^2$
1	125			
2	132			
3	157			
4	70			
5	180			
6	113			
7	115			
8	140			
9	148			
10	190			
Mittelwerte	Arithmetisches Mittel $\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$ =	Mittlere Differenz $\frac{(x_1 - \bar{x}) + \dots + (x_n - \bar{x})}{n}$ =	Mittlere lineare Abweichung $\bar{d} = \frac{ x_1 - \bar{x}  + \dots +  x_n - \bar{x} }{n}$ =	Varianz $\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}$ =

b) Berechnen Sie jetzt die lineare Abweichung und die empirische Standardabweichung der gemessenen Geschwindigkeiten vom Stadtring.

Uhrzeit	08:02	08:05	08:15	08:15	08:16	08:16	08:17	08:17	08:18	08:19
Geschwindigkeit in km/h	49	50	90	49	48	50	51	49	50	48
Uhrzeit	08:21	08:23	08:23	08:24	08:25	08:27	08:29	08:30	08:30	08:31
Geschwindigkeit in km/h	54	52	51	48	51	48	50	52	49	50

c) Berechnen Sie die lineare Abweichung und die empirische Standardabweichung aus b) ohne Berücksichtigung des Ausreißers. Was fällt Ihnen auf?

Abbildung 12: Arbeitsblatt ‚Richtgeschwindigkeit‘ (M2.1)

*Hinweise zum Material M3*

In der dritten Unterrichtssequenz sollen die Schülerinnen und Schüler in einer reinen Transferaufgabe „Der Blitzmarathon“ das arithmetische Mittel und die Standardabweichung mittels gegebener relativer Häufigkeiten berechnen. Hierbei steht vor allem die mathematische Berechnung im Vordergrund, da die Schülerinnen und Schüler eine Standardabweichung nicht isoliert interpretieren können. Im Anschluss an die Bearbeitung der Aufgabe kann eine Diskussion erfolgen, ob die Daten eines Blitzmarathons eine gute Zufallsstichprobe darstellen. Selbst Raser würden an einem solchen Tag bewusst auf ihre Geschwindigkeit achten.

**M3**

**Der Blitzmarathon**

Beim Blitzmarathon 2015 wurden von insgesamt 422.000 Autofahrern 11.000 Fahrer geblitzt, was einer Rate von etwa 2,7% entspricht.

Beim Blitzmarathon wurden in den 50er Zonen folgende Daten erhoben:

Geschwindigkeit	35	37	40	43	45	48	49	50	51	52
Relative Häufigkeit	0,005	0,023	0,027	0,059	0,086	0,127	0,165	0,189	0,146	0,093

Geschwindigkeit	53	54	55	56	57	58	59	60	70	80
Relative Häufigkeit	0,053	0,009	0,0055	0,0038	0,003	0,0025	0,002	0,0006	0,0005	0,0001

a) Berechnen Sie das arithmetische Mittel.  
b) Berechnen Sie die Standardabweichung.

Abbildung 13: Arbeitsblatt ‚Blitzmarathon‘ (M3)

**M4**

**Die Wette um Geschwindigkeiten**

Bei einer Geschwindigkeitskontrolle in einem verkehrsberuhigten Innenstadtbereich wird von vorbeifahrenden Autos die Geschwindigkeit gemessen. Erfahrungsgemäß halten sich nur etwa 60 % aller Autofahrer in diesem Bereich an die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit.

Ein Verkehrspolizist, der mit seinem Kollegen die Radarmessung durchführt, sagt zu seinem Kollegen: „Ich wette, dass bei den nächsten drei Autos genau ein Schnellfahrer dabei ist.“ Der Kollege meint: „Ich wette dagegen.“

a) Geben Sie eine Schätzung ab, wer die Wette gewinnt. Begründen Sie.  
b) Diskutieren Sie zu zweit Ihre Schätzungen.  
c) Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit dafür, dass der erste Polizist gewinnt.  
d) Wie verändert sich der Ausgang der Wette, wenn der erste Polizist wettet, dass:  
i. bei drei Autos mindestens ein Schnellfahrer dabei ist?  
ii. höchstens zwei Schnellfahrer dabei sind?

Abbildung 14: Arbeitsblatt ‚Die Wette‘ (M4)

**M5**

**Die neue Wette um Geschwindigkeiten**

Aufgabe 1  
Der Polizist ist mit der letzten Wette unzufrieden. Er will noch einmal wetten und eine größere Anzahl Autos betrachten, zum Beispiel 20, 50 oder sogar 100. Sein Kollege fragt daraufhin: „Und auf wie viele Raser würdest du dann wetten?“

Betrachten Sie mit Hilfe des GTR die Streudiagramme für die entsprechenden Längen der Bernoullikette. Was würden Sie dem Polizisten für seine Wette raten, bei

- 20,
- 50,
- 100 Fahrzeugen?

d) Beurteilen Sie, inwiefern die Anzahl der Fahrzeuge für den Ausgang der Wette eine Rolle spielt.

Aufgabe 2  
Beim Blitzmarathon hat sich gezeigt, dass in Gleisheim die Autofahrer in der 50-Zone in der Paradiesstraße mit einer Wahrscheinlichkeit von 20% mit erhöhter Geschwindigkeit fahren. Weitere auffällige Messstellen waren die 30-Zone in der Quallestraße mit einer Raserwahrscheinlichkeit von 50% und der verkehrsberuhigte Bereich am Bahnhof ( $p=0,7$ ).

Vergleichen Sie mit Hilfe des GTR Streudiagramme für die drei gegebenen Wahrscheinlichkeiten  $p$ .

Abbildung 15: Arbeitsblatt ‚Wette 2‘ (M5)

## Literatur

- Gerber, Klaus; Hahnel, Annette; Hanslik, Susanne; Hüllen, Horst; Mühlenfeld, Udo; Sandführ, Stefan & Schmidt, Ursula (2007). Ausgewählte Aufgaben. In Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSW) (Hrsg.), *Impulse für den Mathematikunterricht in der Oberstufe. Konzepte und Materialien aus dem Modellversuch* (Programm Sinus-Transfer, S. 45–227). Stuttgart: Klett.
- Hoffert, Uli (2013). Ansätze und Materialien zur Steigerung der Motivation im Mathematikunterricht zu Beginn der Oberstufe. In Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSW) (Hrsg.), *Impulse für einen kompetenzorientierten Mathematikunterricht. Materialien und Anregungen zur Unterrichtsentwicklung – Berichte aus den SINUS.NRW-Projekten* (SINUS.NRW, Nr. 9050/1, 1. Aufl., S. 7–29). Handreichung. Düsseldorf.
- Hußmann, Stephan; Leuders, Timo & Pallack, Andreas (2007). Impulse zur Weiterentwicklung des Mathematikunterrichts in der gymnasialen Oberstufe. Bausteine für die Unterrichtsentwicklung. In Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSW) (Hrsg.), *Impulse für den Mathematikunterricht in der Oberstufe. Konzepte und Materialien aus dem Modellversuch* (Programm Sinus-Transfer, S. 7–34). Stuttgart: Klett.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2007). *Impulse für den Mathematikunterricht in der Oberstufe. Konzepte und Materialien aus dem Modellversuch* (Programm Sinus-Transfer). Stuttgart: Klett.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium, Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Mathematik* (Die Schule in Nordrhein-Westfalen, Bd. 4720). Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.

## Projektgruppe

### Set-Mitglieder:

Bastian Klappert, Röntgen-Gymnasium Remscheid  
Katrín Burgard, Leibniz-Gymnasium Remscheid  
Jenny Weiher, Leibniz-Gymnasium Remscheid  
Cornelia Nicksch, Sophie Scholl Gesamtschule Remscheid  
Olaf Noll, Sophie Scholl Gesamtschule Remscheid  
Christian Baart, Gesamtschule Barmen, Wuppertal  
Jens Dahmen, Leibniz-Gymnasium, Dortmund  
Nils Hammelrath, Gesamtschule Meiderich Duisburg  
Melanie Jankord, Comenius Gymnasium Datteln  
Klaus Busse, Gesamtschule Weierheide, Oberhausen  
Ulrich Brauner, Willy Brandt Gesamtschule Castrop-Rauxel  
Ingo Koschinski, Gesamtschule Greven Greven  
Dr. Kay Nüßler, Gesamtschule Holsterhausen Essen

### Projektkoordination:

Susann Dreibholz, ZfsL Solingen  
Ulrich Hoffert, Gesamtschule Holsterhausen Essen

### Wissenschaftliche Begleitung:

Prof. Dr. Andreas Büchter, Universität Duisburg-Essen





Michael Rüsing

## **MAfiSuS – Mathematische Angebote für interessierte Schülerinnen und Schüler**

Schülerinnen und Schüler, die Interesse an einem Gebiet entwickelt haben, das über die im Schulfach vermittelten Kenntnisse und Fähigkeiten hinausgeht, suchen für sich geeignete Angebote. Im sportlichen oder musikalischen Bereich gelingt das durchweg, denn das außerschulische Angebot der Sportvereine oder Orchester und Chöre ist groß und vielfältig. Wer jedoch mathematische Interessen hat, wird außerhalb der Schule nicht viele Möglichkeiten finden. Daher ist es wünschenswert, dass Schulen über den regulären Unterricht hinaus diesen Schülerinnen und Schülern Angebote machen, beispielsweise in Form von Arbeitsgemeinschaften.

Zur Unterstützung dieses Anliegens sind im SINUS-Projekt Module vorbereitet und erprobt worden, welche die Leiterinnen und Leiter von Arbeitsgemeinschaften einsetzen können. Ein Zwischenstand wurde bereits nach der letzten SINUS-Welle publiziert (SINUS.NRW, 2013). In dieser Phase wurden die Materialien für die Jahrgangsstufen 5 und 6 erneut überarbeitet, angereichert und zudem die Materialien für die Jahrgangsstufe 7 vervollständigt.

### **1. Projektbeschreibung und Zielsetzung**

Alle Schülerinnen und Schüler haben ein Recht auf individuelle Förderung<sup>1</sup>, unabhängig davon, ob sie zu den leistungsschwachen oder leistungsstarken in einem Fach gehören (Kultusministerkonferenz, 2016). Für die Förderung der leistungsstarken Schülerinnen und Schüler sind unterschiedliche Konzepte entwickelt worden. Eine Übersicht über einige Angebote, die zum Teil über den Mathematikunterricht hinausgehen, ist auf der Webseite zum Projekt zusammengefasst ([www.sinus.nrw.de](http://www.sinus.nrw.de)). Nach unserer Erfahrung werden die beschriebenen Angebote aber nicht allen an Mathematik interessierten Schülerinnen und Schülern gerecht. Auch diejenigen, die nicht zu den leistungsstärksten gehören, aber an mathematischen Fragestellungen in besonderer Weise interessiert sind, müssen gefördert werden. Die Förderung sollte regelmäßig und gut erreichbar sein sowie das Leistungsspektrum in der Gruppe abdecken. Nicht alle Fragestellungen sind im Rahmen des normalen Mathematikunterrichts angemessen zu bearbeiten. Daher bietet sich zusätzlich eine schulinterne Förderung mit Leistungsdifferenzierung in Form von Arbeitsgemeinschaften z.B. im Nachmittagsbereich an. Die Sichtung, Auswahl und Aufbereitung geeigneter Materialien ist für die Lehrkräfte jedoch mit einem großen Aufwand verbunden. Hier setzt dieses SINUS-Projekt MAfiSuS an.

**individuelle  
Förderung**

**Leistungs-  
differenzierung**

<sup>1</sup> Vgl. §1 Schulgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen.

**Problemlösestrategien**

Ein Ziel des Projektes ist, das besondere Interesse an Mathematik und mathemathhaltigen Projekten und Aufgaben auch außerhalb der Schulmathematik zu stärken und einen flexiblen Umgang mit mathematischen Problemlösestrategien, insbesondere dem Erkennen und Nutzen von Strukturen und Mustern, zu fördern. Dazu wurden Materialien entwickelt, sodass eine zielgerichtete Förderung der interessierten Schülerinnen und Schüler mit relativ geringem Aufwand an einzelnen Schulen realisiert werden kann.

**Mathematik-Olympiade**

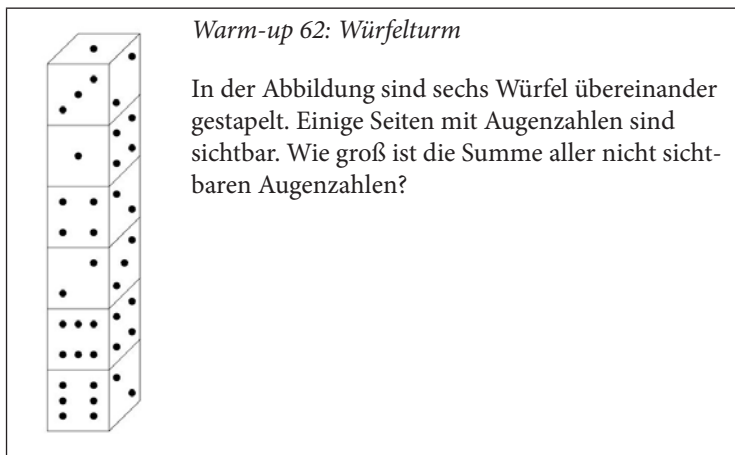
Eine wichtige Quelle für die hier vorgestellten Materialien sind die Aufgaben der Deutschen Mathematik-Olympiade, die der Verein Mathematik-Olympiaden e.V. als Rechteinhaber für dieses Projekt zur Verfügung gestellt hat (Mathematik Olympiaden e.V., 2017). Diese und weitere Wettbewerbsaufgaben bieten sich als Materialgrundlage in besonderer Weise an (Mathematischer Korrespondenzzirkel Göttingen, 2008). Solche Aufgaben unterscheiden sich in der Regel von Aufgaben aus dem regulären Mathematikunterricht insofern, dass sie komplexer sind und oft nicht auf den ersten Blick erkennbar ist, welche Werkzeuge und Strategien zur Lösung führen. Somit geht es um flexiblen Einsatz der im Unterricht bereits erworbenen Methoden und Fähigkeiten, ohne dass schulrelevante neue Inhalte vorweggenommen werden müssen. Angewandt werden vielmehr unterschiedliche heuristische Strategien, sodass die Problemlösefähigkeit auf einem komplexeren Anspruchsniveau gestärkt wird. Die Strategien werden im Lehrmaterial immer wieder deutlich hervorgehoben und sollten durch die AG-Leitung auch den Teilnehmerinnen und Teilnehmern bei der Reflexion der Lösungen bewusst gemacht werden.

**Konzept**

Erstellt wurde ein Konzept für eine wöchentliche Arbeitsgemeinschaft mit einem Umfang von jeweils 90 Minuten. Zum Konzept gehören Vorschläge für eine Reihenfolge und den Zeitaufwand in den einzelnen Halbjahren, die ohne großen Aufwand an die individuellen Bedürfnisse der Lerngruppe angepasst werden können. Einen im Rahmen von Arbeitsgemeinschaften häufig zitierten Vorschlag aus dem „Bezirkskomitee Chemnitz zur Förderung mathematisch-naturwissenschaftlich begabter Schüler“ (König, 1996, S. 16–19) aufgreifend ist jede AG-Sitzung dreiteilig. Diese Dreiteilung dient dazu, für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer Abwechslung während einer jeden Sitzung herzustellen.

**Warm-up****Knobelaufgabe**

Mit einem Warm-up werden die Schülerinnen und Schüler auf mathematisches Denken und Handeln eingestimmt. Diese Phase sollte nicht mehr als 10 Minuten dauern und umfasst eine kleine Knobelaufgabe, die in der Regel losgelöst vom Inhalt des Hauptteiles gestaltet ist. Die Warm-ups sind bereits in der letzten Dokumentation ausführlich vorgestellt worden (MSW, 2013, S. 47–49). In Abbildung 1 ist ein Beispiel für ein Warm-up dargestellt.



### Warm-up 62: Würfelturm

In der Abbildung sind sechs Würfel übereinander gestapelt. Einige Seiten mit Augenzahlen sind sichtbar. Wie groß ist die Summe aller nicht sichtbaren Augenzahlen?

Abbildung 1: Beispiel für ein Warm-up

## Hauptteil

Für den Hauptteil mit der Bearbeitung eines mathemathikhaltigen Themas ist ein Zeitrahmen von 60 Minuten vorgesehen. Das Material für den Hauptteil ist in thematische Module gegliedert. Jedes Modul ist in einer bis drei AG-Sitzungen zu bearbeiten.

thematische  
Module

Zentrales Material für jedes Modul ist eine Handreichung für die AG-Leitung. Diese Handreichung enthält

- eine kurze Beschreibung über die Intention, die mit dem Modul verfolgt wird,
- die Schüleraufgaben mit Lösungshinweisen sowie didaktischen und methodischen Kommentaren,
- Vorschläge für Variationen der Aufgaben zur Differenzierung innerhalb der AG,
- Ergänzungsvorschläge für besonders leistungsstarke Schülerinnen und Schüler sowie
- Hilfeangebote in Form von Hilfekarten für Schülerinnen und Schüler, die keine Lösungsansätze finden.

Weiterhin enthalten sind

- Aufgabenblätter als Kopiervorlage sowie
- eventuell Kopiervorlagen für die Hilfematerialien.

Nach den Erfahrungen aus der praktischen Erprobung fordern die Schülerinnen und Schüler im Hauptteil mehr Abwechslung, aber auch mehr Vertiefung ein und wollen sich nicht ausschließlich mit Wettbewerbsaufgaben beschäftigen. Auf dieser Grundlage sind somit Module entwickelt worden, in denen „mathematische Basteleien“ oder besondere Projekte – auch mit Einsatz elektronischer Hilfsmittel – bearbeitet werden. In Kapitel 2.2 werden zwei solcher Module exemplarisch vorgestellt. Im Rahmen dieser Phase jeder AG-Sitzung werden die angewandten Strategien reflektiert und ggf. mit anderen Strategien verglichen.

**mathematisch-logische Spiele****Ausklang**

Nachdem die Schülerinnen und Schüler sich intensiv mit kognitiv herausfordernden mathematischen Aufgaben oder Projekten beschäftigt haben, ist ein spielerischer Ausklang der AG-Sitzung vorgesehen. Dabei stehen ebenfalls mathematisch-logische Spiele im Vordergrund, bei denen die Lösungen und Begründungen gemeinsam gesucht werden. Dafür sind etwa 20 Minuten vorgesehen, ggf. kann aber auch diese Phase kürzer ausfallen, wenn der Hauptteil z. B. einen intensiveren Austausch ergeben hat. Beispielhaft wird in Kapitel 2.3 eine spezielle Variante des bekannten Spiels „Mastermind“ dargestellt.

Die Materialien des SINUS-Sets wurden in den Arbeitsgemeinschaften an verschiedenen Schulen erprobt und mehrfach auf Tagungen – auch außerhalb von NRW – vorgestellt. Dabei wurden immer wieder Rückmeldungen von den Kolleginnen und Kollegen zum Einsatz und zu sinnvollen Veränderungen erbeten. Eingegangene Rückmeldungen wurden bei den Set-Sitzungen diskutiert und eingearbeitet. Das vollständige Material ist auf der SINUS-Seite (SINUS NRW, 2017)<sup>2</sup> bereitgestellt.

**2. Exemplarische Dokumentation von Materialien****Reihenplanung****Schwierigkeitsprogression**

Um den Einsatz der Materialien für die AG-Leitungen zu erleichtern, wurden für jedes Halbjahr der Jahrgangsstufen 5 bis 7 mögliche Anordnungen erstellt. Als Beispiel ist hier ein Ausschnitt des zweiten Halbjahrs der Jahrgangsstufe 7 dokumentiert (Abbildung 2). In der digitalen Version sind die Eintragungen in den Reihenplanungen mit Links versehen, sodass die Lehrkraft die Materialien durch Anklicken erreicht. Module wie „Wege auf Flächen und Körpern“, „Flächenanteile“ oder „Spielstände“, die Olympiade-Aufgaben als Grundlage haben, wechseln mit handwerklichen Modulen wie „Zusammengesetzte Körper“ oder Modulen wie „Parkettierung“, die digitale Werkzeuge nutzen, ab. Eine Schwierigkeitsprogression findet jeweils in den Modulen statt, sodass die Reihenfolge in der Reihenplanung angepasst werden kann.

**Känguru-Wettbewerb**

Die Schule, an der diese Planung zum Einsatz kam, hat in ihrem schulinternen Curriculum vereinbart, jährlich an dem Känguru-Wettbewerb teilzunehmen. Daher wurde darauf geachtet, dass zu passenden Zeitpunkten Informationen oder Trainingseinheiten für Wettbewerbe angeboten werden. In der dargestellten Reihe ist das in der KW 10 der Fall, kurz vor dem Termin des Känguru-Wettbewerbs. Die Warm-ups und die Ausstiege haben bewusst inhaltlich keinen Bezug zu den Hauptteilen, sodass in jeder Sitzung drei unterschiedliche Angebote erfolgen.

2 Direkter Zugang unter [https://www.schulentwicklung.nrw.de/sinus/front\\_content.php?id-cat=1964](https://www.schulentwicklung.nrw.de/sinus/front_content.php?id-cat=1964).



Sinus-MafiSuS  
Mathematische Angebote für interessierte Schülerinnen und Schüler



Muster einer Reihenplanung für die Klasse 7 im zweiten Schulhalbjahr 2016/2017

KW	Datum	Warm Up	Hauptteil	Ausklang
5	30.01. – 03.02.	Gehaltserhöhung	Rund um den Kreis, Schüler-AB	Ping Pong
6	06.02. – 10.02.	Tulpen und Narzissen		Mastermind mehrdeutig
7	13.02. – 17.02.	Der Mittelpunkt eines Kreises	Rechnen mit Restklassen, Schüler-AB	Wolkenkratzer
8	20.02. – 24.02.	Blumen im Garten		Mathrax
9	27.02. – 03.03.	Die Wanderung	Bastelprojekt Pop-Up-Karten	Hashiwokakero
10	06.03. – 10.03.	Bunte Scheiben	Känguru Training, Schüler-AB	Set
11	13.03. – 17.03.	Eine interessante Zahl	Systematisches Probieren, Schüler-AB	Masyu
12	20.03. – 24.03.	Volle und leere Becher		Kreuzzahlrätsel
13	27.03. – 31.03.	Produkt und Summe gegeben	Winkel im Dreieck, Schüler-AB	Mathrax
14	03.04. – 07.04.	Handschuhe in der Schublade		Trio
15	Osterferien			

Abbildung 2: Ausschnitt aus der Reihenplanung zur AG in der 7. Jahrgangsstufe

### Hauptteil: Modul „Wege auf Flächen und Körpern“

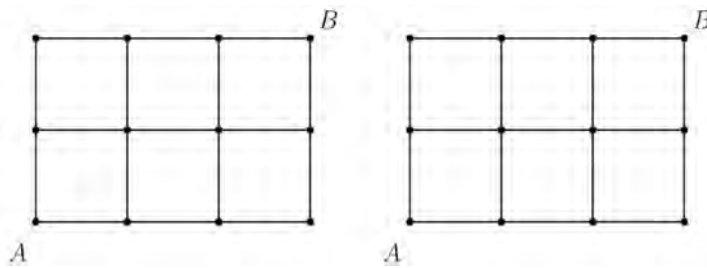
Dieses Modul beruht auf Olympiade-Aufgaben. Zu Beginn eines jeden Moduls wird den Lehrkräften ein aussagekräftiger Kurzttext angeboten, in dem sie sich über die wesentlichen Inhalte und die benötigten Fähigkeiten oder die für die Aufgabenlösung hilfreichen Problemlösestrategien informieren können (Abbildung 3).

**Problemlöse-  
strategien**

In dem Modul werden verschiedenste Fertigkeiten und Lösungsstrategien, die Schülerinnen und Schüler schon aus früheren Modulen bekannt sind, in einem neuen Kontext miteinander verknüpft. Neben geometrischer Anschauung werden die Schülerinnen und Schüler dazu angehalten, Zählstrategien und kombinatorische Fertigkeiten anzuwenden. Schrittweise werden auch die Kenntnisse aus dem Modul Mustererkennung abgerufen, die zu der Erstellung einer Berechnungsformel für die letzte Aufgabe führt. Bei allen Aufgaben geht es darum, Wege auf vorgegebenen Gitterstrukturen zu betrachten.

Abbildung 3: Kurzinformation für Lehrkräfte zum Modul „Wege auf Flächen und Körpern“

Es wird immer großer Wert darauf gelegt, dass zum Einstieg in ein Modul eine sehr einfache Aufgabe angeboten wird, die möglichst von allen Schülerinnen und Schülern erfolgreich bearbeitet werden kann, sodass zu Beginn alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer bereits ein Erfolgserlebnis verbuchen können (Abbildung 4).

*Aufgabe 1:*

Eine Ameise läuft auf Gitterlinien von *A* nach *B*. Von einem Gitterpunkt zum nächsten ist es immer 1 m.

- Finde zwei Wege unterschiedlicher Länge, bei denen die Ameise keine Linie doppelt läuft.
- Der kürzeste Weg der Ameise ist 5 m lang. Wie viele verschiedene Wege dieser Länge gibt es?
- Wie lang ist der längste Weg, wenn die Ameise keinen Gitterpunkt zweimal besuchen darf?

Abbildung 4: Aufgabe 1 des Moduls „Wege auf Flächen und Körpern“

**Darstellungswechsel**

Die Musterlösungen, die zu jeder Aufgabe angegeben werden, sind hier nicht dokumentiert. Im Rahmen der Sitzung muss durch die Leitung der AG darauf geachtet werden, dass die unterschiedlichen und vor allem unterschiedlich erfolgreichen Strategien gegenseitig vorgestellt und – soweit möglich – auch durch die Schülerinnen und Schüler bewertet werden. In den Hinweisen zur Aufgabe und zum Unterrichtseinsatz wird auf Strategien, die zur Lösung der Aufgabe nützlich sind, hingewiesen. Wenn es möglich ist, werden den Leiterinnen und Leitern der AG auch alternative Lösungsansätze vorgestellt. Bei dieser Aufgabe wird auf einen Darstellungswechsel verwiesen, der eine größere Abstraktion durch die Buchstabencodierung erfordert, aber einen geringeren Aufwand bei der Dokumentation der Lösung bedeutet (Abbildung 5).

*Hinweise zur Aufgabe und zum Unterrichtseinsatz:*

In Aufgabenteil b) werden alle Schülerinnen und Schüler Wege der Länge 5 finden. Die Schwierigkeit liegt darin, zu begründen, dass auch wirklich alle Wege dieser Länge gefunden wurden. Dazu ist es sinnvoll, eine systematische Darstellung sämtlicher Wege zu betrachten, ein Verfahren, welches die Schülerinnen und Schüler schon aus früheren Modulen kennen. Die Systematik kann darin bestehen, die Wege wie in der Musterlösung des MO-Vereines einzeln zu zeichnen. Alternativ kann man einen Darstellungswechsel vornehmen. Dabei werden die Wege durch das Gitter durch Buchstabenketten der Länge 5, die nur aus den Buchstaben o und r bestehen, betrachtet. Der Buchstabe o, der für eine Bewegung nach oben steht, muss zweimal vorkommen, der Buchstabe r dreimal. Die Systematik besteht dann in einer alphabetischen Anordnung der Buchstabenfolgen:

oorry - ororr - orror - orro  
 roorr - roror - rorro - rroor - rroro - rrrro

Abbildung 5: Hinweise zum Einsatz von Aufgabe 1 aus dem Lehrertext

**Schwierigkeitsprogression**

In der nachfolgenden Aufgabe des Moduls erfolgt eine Schwierigkeitsprogression dadurch, dass nun die Wege auf einem räumlichen Gitter zurückgelegt werden (Abbildung 6).

**Aufgabe 2:**

Eine Ameise läuft auf den Kanten eines Würfels von Punkt  $A$  zum Punkt  $G$ . Von einem Eckpunkt zum nächsten ist es immer ein Meter.

- Gib einen möglichst kurzen Weg für die Ameise an.
- Wie viele verschiedene Wege dieser Länge gibt es? Gib diese an.
- Wie lang ist der längste Weg, wenn die Ameise keine Ecke zweimal betreten darf? Gibt es mehrere Wege dieser Länge?

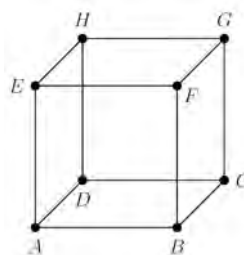


Abbildung 6: Aufgabe 2 des Moduls „Wege auf Flächen und Körpern“ aus dem Lehrertext

Zu dieser Aufgabe wird im Lehrermaterial empfohlen, bei Bedarf für die Schülerinnen und Schüler eine Bastelvorlage für einen Würfel bereitzustellen. Ferner wird ein Vorschlag gemacht, wie die Aufgabe in der Arbeitsgemeinschaft erweitert werden kann, um eine zusätzliche Schwierigkeitsprogression anzubieten (Abbildung 7).

**Mögliche Erweiterungen der Aufgabe:**

Für leistungsstarke Schülerinnen und Schüler kann die Figur, in der die Wege gesucht werden, dadurch aufwendiger gestaltet werden, dass mehrere der Würfel auf- bzw. nebeneinander gestellt werden.

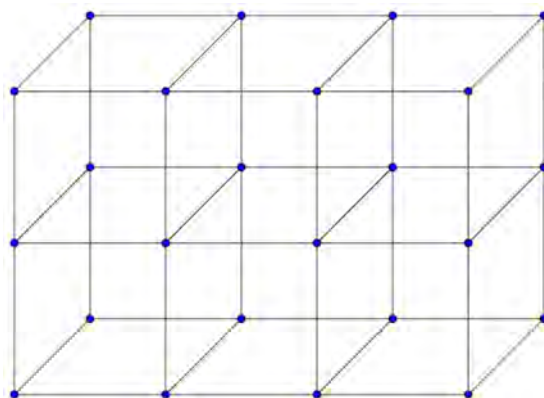


Abbildung 7: Vorschlag zur Erweiterung der Aufgabe 2

Die weiteren Aufgaben des Moduls haben andere Gitterstrukturen zur Grundlage (Abbildung 8). In den abschließenden Aufgaben geht es auch um Mustererkennung, wenn die Länge von Wegen in Abhängigkeit von ihrer Form betrachtet werden soll. Das Erstellen eines geeigneten Terms wird dann in einer Arbeitsgemeinschaft nicht mehr von allen Schülerinnen und Schüler selbstständig geleistet werden können.

**Aufgabe:**

In dieser Aufgabe geht es um eine Ameise, die auf einem Dreiecksgitter, wie es in den Abbildungen gegeben ist, Wege entlangkrabbelt.

Im ersten Umlauf umkrabbelt die Ameise ein kleines Dreieck und geht zum Schluss noch eine Seitenlänge geradeaus, sodass sie im ersten Umlauf insgesamt vier Seitenlängen zurückgelegt hat.

Im zweiten Umlauf umläuft die Ameise ein größeres Dreieck, und zwar wählt sie den kürzesten Weg in Form eines Dreiecks um die bisher umlaufene Figur, die keine der bisher benutzten Kanten verwendet. Zum Schluss krabbelt sie wieder eine Seitenlänge nach außen, damit sie ihren nächsten Umlauf beginnen kann.

Auf diese Weise umkrabbelt die Ameise in weiteren Umläufen immer größere Dreiecke.

- Wie viele Seitenlängen hat die Ameise am Ende des zweiten Umlaufs insgesamt zurückgelegt?
- Wie viele Seitenlängen legt die Ameise im vierten Umlauf zurück?
- In welchem Umlauf durchläuft die Ameise ihre insgesamt hundertste Seitenlänge?
- Gib eine allgemeine Formel an, mit der man berechnen kann, wie viele Seitenlängen  $u(n)$  die Ameise im  $n$ -ten Umlauf zurückgelegt hat.

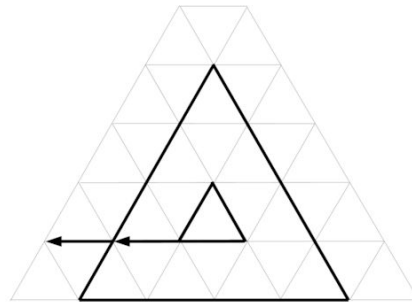
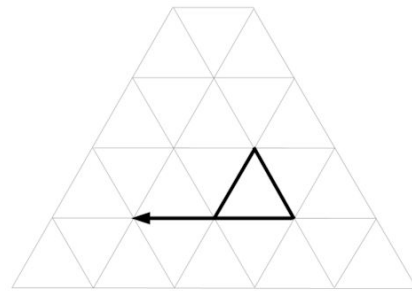


Abbildung 8: Abschließende Aufgabe des Moduls „Wege auf Flächen und Körpern“

### Hauptteil Escher-Parkette

In den Materialien gibt es an mehreren Stellen Module zu Escher-Parketten, in denen die Schülerinnen und Schüler die Eigenschaften solcher Parkette untersuchen und mit Hilfe einer Dynamischen Geometriesoftware (DGS) Parkette selber erstellen (im Ordner „Projekte und Spiele“). Der Schwerpunkt des hier dokumentierten Moduls liegt auf linearen Parketten, bei denen identische Kacheln reihenweise aneinander gefügt werden (im Unterordner „Parkette“). In anderen Modulen werden weitere Konstruktionsprinzipien der Escher-Parkette betrachtet, zum Beispiel mit gedrehten Kacheln (Unterordner „Parkett gedreht“).

Es bietet sich an, zum Einstieg und zur Motivation in der Arbeitsgemeinschaft einige lineare Escher-Parkette zu zeigen. Über das Internetportal des Mathematischen Cafés von Prof. Hebisch sind einige kommentierte Abbildungen zu finden (Hebisch, 2017, S. 105, 106, 127, 128). Eine bekannte Parkettierung mit Vögeln wurde nachgebildet und kann daher ohne Lizenzprobleme verwendet werden (Abbildung 9).

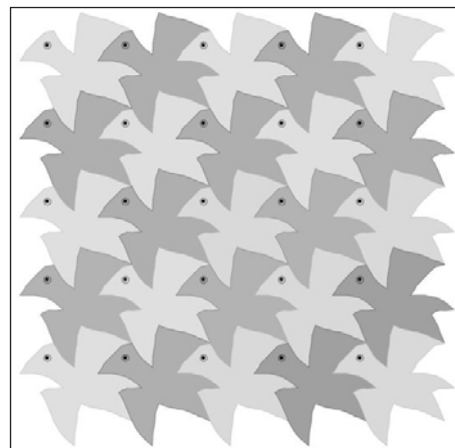


Abbildung 9: Mit Hilfe von GeoGebra nachgebildete Parkettierung

Dynamische  
Geometriesoftware

Mathematisches  
Café



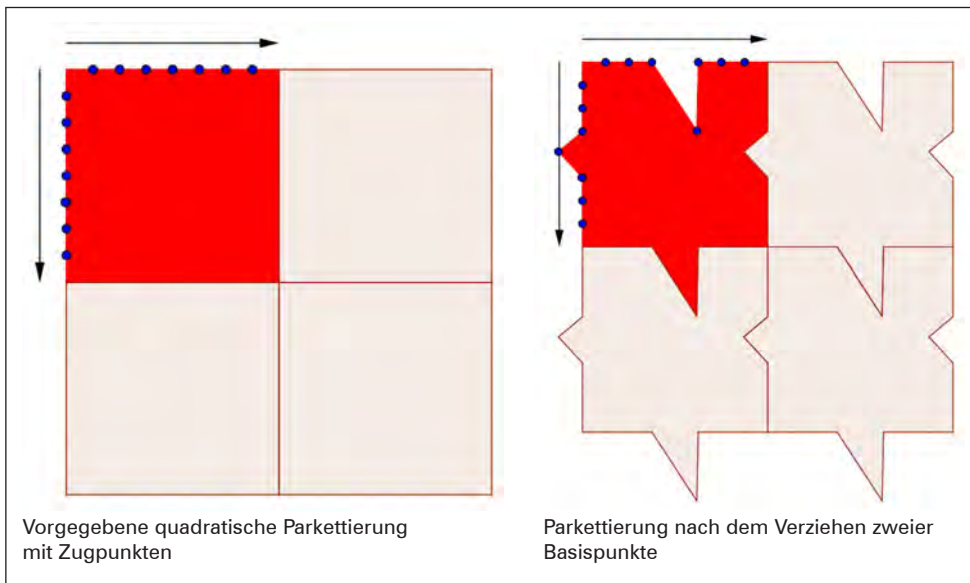


Abbildung 10: Ausgangssituation zur Parkettierung mit digitalem Werkzeug

Im ersten Schritt des Moduls sollen die Schülerinnen und Schüler spielerisch mit einer vorgegebenen Vorlage das Entstehen von Parketten analysieren. Dazu verwenden sie ein fertiges dynamisches Arbeitsblatt. In einem Feld von vier Quadraten sind einige wenige Ziehpunkte vorgegeben (Abbildung 10). Die Schülerinnen und Schüler beobachten, dass sich beim Ziehen an den markierten Punkten weitere Punkte automatisch mitbewegen und so aus einem Quadratmuster eine Parkettierung mit unregelmäßigen Kacheln entsteht.

Wichtig ist, dass anschließend die Beobachtungen dokumentiert und händisch angewendet werden können. Dazu gibt es im Schülerarbeitsblatt konkrete Aufgabenstellungen. Eine Teilaufgabe aus dem Arbeitsblatt ist in Abbildung 11 dokumentiert.

Dokumentation

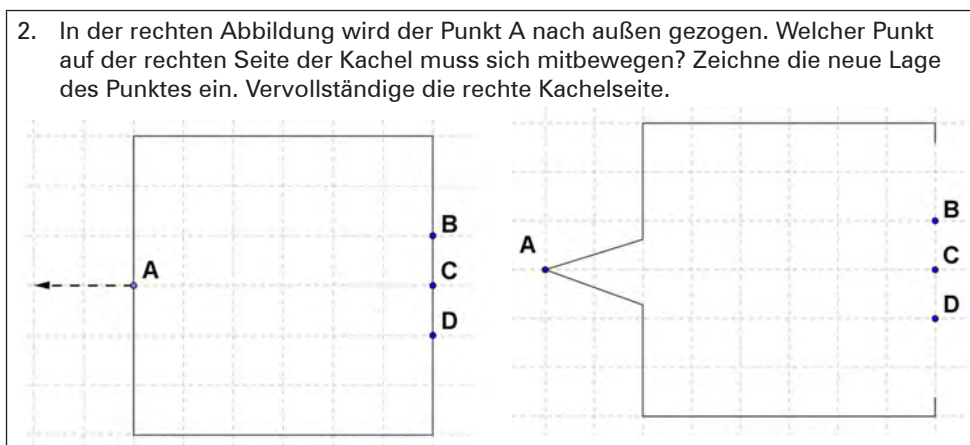


Abbildung 11: Aufgabe 2 zum händischen Zeichnen einer Escher-Kachel (Escherparkette\_von\_Hand.docx)

Die folgenden Aufgaben lassen eine Progression der Schwierigkeit erkennen. Während die dokumentierte Aufgabe 2 von allen Schülerinnen und Schülern gelöst werden kann, die das Konstruktionsprinzip bei der spielerischen Untersuchung erfasst haben, ist bei der (nicht abgebildeten) Aufgabe 4 in stärkerem Maße händisches Konstruieren erforderlich.

Konstruktionsprinzip

Die Schülerinnen und Schüler können nun auf verschiedenen Niveaustufen weiterarbeiten. Manche möchten kreativ werden und mit Hilfe einer Vorlage schöne Parkette erzeugen (Abbildung 12), andere interessieren sich stärker dafür, wie man mit Hilfe des DGS die Koppelung der Punkte realisiert, sodass einige Basispunkte ausreichen, um das gesamte Parkett zu erzeugen. Dazu wurden Anleitungen erstellt, die die benötigten Elemente des DGS erklären. Zunächst empfiehlt es sich, eine einzelne Kachel zu erzeugen (Abbildung 13).

Aus einzelnen Kacheln kann ein komplettes Parkett zusammengesetzt werden. Dabei wird die Ausgangskachel geeignet verschoben. Auch dazu gibt es in den Materialien ein Blatt mit technischen Anleitungen für die Schülerinnen und Schüler. Schülerinnen und Schüler, die sich nicht in die Bedienung des DGS in dieser Tiefe einarbeiten möchten und auch wenig Lust am kreativen Arbeiten haben, können auch mit Kacheln, die sie aus vorgegebenen Parketten isolieren, Parkette nachbilden. Ein Beispiel ist im Material enthalten, weitere können die Schülerinnen und Schüler selbstständig durch Recherche finden.

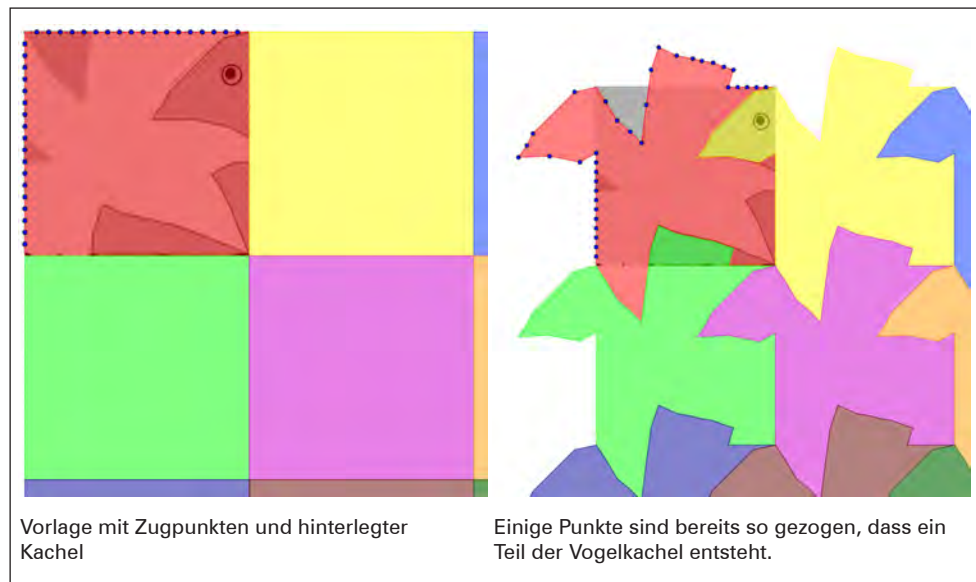


Abbildung 12: Muster-Vorlage als GeoGebra-Datei (Vogelparkett\_Vorlage.gbb)

**Arbeitsblatt 2a:****Anleitung zur Erstellung von Kacheln für eine Escher-Parkettierung**

Mit GeoGebra kannst du Kacheln für eine Escher-Parkettierung erstellen. Wenn du an der einen Seite etwas veränderst, dann werden automatisch die passenden Veränderungen an der gegenüberliegenden Seite durchgeführt.

1. Starte das Programm und schließe zunächst das Algebra-Fenster links.



2. Mache im Grafik-Fenster die Achsen unsichtbar und das Koordinatengitter sichtbar. Benutze folgende Symbole:



Das linke Symbol schaltet die Koordinatenachsen ein und aus, das rechte Symbol schaltet das Koordinatengitter ein und aus.

3. Nun werden die Punkte, an denen später gezogen werden kann, auf die Kreuzungspunkte des Koordinatengitters gesetzt. Den Button für das Setzen eines Punktes findest du in der Werkzeugleiste an der zweiten Stelle von links.

Hier sind schon einige Punkte gesetzt.

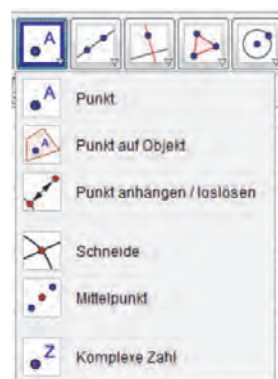


Abbildung 13: Ausschnitt aus der Anleitung zur Erstellung einer Escher-Kachel mit GeoGebra (Anleitung\_Kachelerstellung\_linear.docx)

Wenn die Schülerinnen und Schüler dabei nicht die Vorlage mit der hinterlegten Kachel benutzen, sondern eine Kachel aus einem anderen Parkett verwenden möchten, ist es für sie nicht ganz einfach, aus einem fertigen Parkett eine geeignete Kachel zu identifizieren.

Typische Fehlerquellen werden von den Schülerinnen und Schülern selbstständig entdeckt (Abbildung 14), deren Ursachen beschrieben, und schließlich werden daraus Bedingungen abgeleitet, die eine korrekte Kachel beschreiben. Sowohl in der Dokumentation für die Lehrkräfte (Escher\_Lehrertext.docx) als auch in den Arbeitsblättern für die Schülerinnen und Schüler (Escherparkette\_selbst.docx) sind Beispiele für fehlerhafte Kacheln beschrieben.

Arbeitsblatt 4:  
Escher-Parkettierungen selbst erstellen

2. Vorsicht Falle: Welcher Bildausschnitt muss nun auf einer Kachel liegen?  
Liegen die Kacheln in den Bildausschnitten richtig? Kann man eine Kachel genau passend auf einen Vogel ziehen? Ergibt sich daraus eine Parkettierung? Experimentiere selbst!



Abbildung 14: Ausschnitt aus dem Schülerarbeitsblatt mit typischen Fehlern beim Identifizieren einer Kachel

### Ausklang: „Mastermind-Kärtchen“

Das Spiel Mastermind ist bei Schülerinnen und Schülern in der heutigen Zeit weitgehend unbekannt. Auch bei Lehrkräften ist das Spiel nicht flächendeckend bekannt. Daher wird in den Materialien vorgeschlagen, zunächst am Ende von zwei AG-Sitzungen das Spiel einfach nur durch die Schülerinnen und Schüler spielen zu lassen. Eine detaillierte Anleitung für das Spiel wurde formuliert und liegt dem Materialpaket bei (Mastermind.docx).

Nachdem die Schülerinnen und Schüler mit den Regeln von Mastermind vertraut sind und einige einfache Strategien bei ihren Spielen erfahren haben, bearbeiten sie in weiteren Sitzungen konkrete Aufgaben zum Ausklang. Diese Aufgaben sind auf Mastermind-Kärtchen zusammengestellt. Es handelt sich jeweils um Spielfelder, die bereits soweit ausgefüllt sind, dass man mit logischen Überlegungen im nächsten Schritt die richtige Reihenfolge eindeutig ermitteln kann (Abbildung 15). Bei den Mastermind-Kärtchen geht es in der AG nicht nur darum, die richtige Reihenfolge im nächsten Schritt zu finden. Es sollte auch darauf geachtet werden, dass die Schülerinnen und Schüler begründen, warum diese Reihenfolge die richtige sein muss, und die Begründung dokumentieren, eine wichtige Kompetenz aus dem Bereich Argumentieren/Kommunizieren.

Eine wichtige Rolle spielt jeweils auch die Überlegung, dass die Reihenfolge eindeutig bestimmt ist. Unterschiedliche Problemlösestrategien wie Fallunterscheidungen und systematisches Arbeiten und Probieren kommen dabei zum Einsatz.

Zu jedem Kärtchen gibt es für die Lehrkraft einen Lösungsvorschlag, der auch eine mögliche Dokumentation der Lösungsschritte enthält (Abbildung 16).

Im Projekt wurden auch Mastermind-Kärtchen erstellt, bei denen nach den Vorgaben die Lösung noch nicht eindeutig zu finden ist. Dabei kann angegeben werden, wie viele Lösungen es noch gibt. Diese Angabe kann aber auch fehlen, sodass noch eine weitere Schwierigkeit bei der Bearbeitung auftritt. Die Schülerinnen und Schüler sollen nun *alle* Lösungen angeben (Abbildung 17). Dazu ist es unbedingt erforderlich, dass systematisch bestimmte Konstellationen ausgeschlossen und Teillösungen genauer untersucht werden. Die Schülerinnen und Schüler sind nun gezwungen, auf klassische Methoden des Problemlösens, wie Fallunterscheidungen und kombinatorische Überlegungen, zurückzugreifen.

Am Ende der Klasse 6 wird der Einsatz eines ersten mehrdeutigen Kärtchens angeboten. Weitere Kärtchen dieser Art sind als Ausklänge für die nachfolgenden Jahrgänge 7 und 8 vorgesehen.

*Mastermind-Kärtchen 1a*

Durch die Ergebnisse kann man in der nächsten Zeile eindeutig die richtige Reihenfolge bestimmen. Bestimme diese Reihenfolge und begründe, wie du sie gefunden hast.

Abbildung 15: Mastermind-Kärtchen mit einer sehr einfachen Argumentation

*Mastermind-Kärtchen 1a – Lösungsvorschlag*

In Zeile 3 sind bereits die richtigen Farben gefunden worden, jedoch befindet sich keine an der richtigen Position. Damit ist der schwarze Stecker in den Zeilen 1 und 2 auch nicht an der richtigen Position. Außer schwarz kommt von den richtigen Farben in Zeile 2 noch violett vor, in Zeile 1 türkis, jeweils an der richtigen Position. Damit ist die Reihenfolge bekannt: türkis – blau – violett – schwarz.

Abbildung 16: Lösung mit Dokumentation der Argumente

*Mastermind-Kärtchen mehrdeutig 1*

Durch die Ergebnisse in der unteren Abbildung kann man noch nicht die richtige Reihenfolge eindeutig bestimmen. Welche weiteren Lösungen erfüllen die unteren Bedingungen ebenfalls? Gib alle Lösungen an und begründe, warum es keine weiteren Lösungen geben kann.

Abbildung 17: Beispiel eines Mastermind-Kärtchens mit mehrdeutiger Lösung

### 3. Erfahrungsbericht, Rückmeldungen

#### Einsatz der Materialien

##### Förderangebote

Die Materialien wurden von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Sets eingesetzt und erprobt. Der Einsatz erfolgte sowohl in regelmäßigen Arbeitsgemeinschaften als auch bei mathematischen Wochenenden, die vor allem von Kolleginnen und Kollegen besucht wurden, die bereits Förderangebote für begabte und interessierte Lernende durchführten.

Alle Rückmeldungen waren durchweg positiv. Hervorgehoben wurde die Abwechslung zwischen Modulen, die Wettbewerbsaufgaben der Mathematikolympiade zur Grundlage haben, und solchen, die mit handwerklichen Tätigkeiten zu bearbeiten sind. Von Schülerinnen und Schülern der Mathematischen Sommerakademie<sup>3</sup> wurden die drei Phasen Warm-up, Hauptteil und Ausklang besonders gelobt. Gerade die mathematischen Spiele führten dazu, dass sie sich auch nach den Sitzungen weiter damit beschäftigten.

Dass auch die Warm-ups eine motivierende Funktion haben, kann unter anderem daran festgemacht werden, dass sich Schülerinnen und Schüler bereits an den Aufgaben „festgebissen“ hatten und die Leitung entsprechend flexibel zusammen mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern entscheiden musste, ob für den Hauptteil ausreichend Zeit übrig blieb.

##### Variabilität

Die Bandbreite des Einsatzes der Materialien ist sehr groß. In den meisten Fällen konnten gar nicht alle Angebote eingesetzt werden, denn an vielen Schulen finden mathematische Arbeitsgemeinschaften in einem kürzeren Zeitrahmen oder nicht wöchentlich statt. Durch die hohe Variabilität der erstellten Materialien gelang es aber leicht, diese an die jeweiligen Bedingungen anzupassen. Herausfordernd sind aber Sitzungen mit nur einer Schulstunde, da die Dreiteilung in Warm-up, Hauptteil und Ausklang nur mit Schwierigkeiten umzusetzen ist.

##### Leistungsfähigkeit

In Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit und der Leistungsbereitschaft der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der AG war für manche Module ein anderer Zeitrahmen als die vorgesehenen zwei Sitzungen erforderlich. Ein Zusammenhang mit bestimmten Modulen konnte aber nicht festgestellt werden, sodass die Gründe dafür vermutlich in der Zusammensetzung der AG zu suchen sind. Zudem mussten Module, die einen größeren Technikeinsatz erfordern, gelegentlich zurückgestellt werden, weil keine ausreichende Anzahl an Computern vorhanden war oder aber Programme nicht installiert werden konnten.

Neben allgemeinen Rückmeldungen wurden Kolleginnen und Kollegen gebeten, uns Erfahrungen zum Einsatz der Materialien in Arbeitsgemeinschaften mitzuteilen. Diese sind auf der Webseite zum Projekt zusammengefasst. Nachfolgend sind zwei Rückmeldungen von Kolleginnen und Kollegen zum Einsatz der Materialien dokumentiert.

#### Parkettierung

An der Alexander-Coppel-Gesamtschule in Solingen wird seit dem Schuljahr 2013/2014 im Rahmen der Übermittagsbetreuung für interessierte Schülerinnen und Schüler aus den Jahrgangsstufen 5 und 6 der „Mathe-Club“ angeboten. Eine Einheit dauert 65 Minuten und ist nach dem Konzept von MAFiSuS aufgebaut.

<sup>3</sup> Mathematische Sommerakademie NRW des Landesverbandes Mathematikwettbewerbe, <https://www.soak-nrw.de/>.

Das Projekt „Parkettierung“ wurde in drei Sitzungen durchgeführt. Als Grundlage dienten die Materialien des Projekts, wobei besondere Schwerpunkte gelegt wurden auf

- die Analogie von GeoGebra zum Arbeiten mit Papier, Schere und Konstruktionswerkzeugen,
- das Konzept der Parkettierung (überschneidungs- und lückenfreie Überdeckung mit kongruenten Figuren),
- die Vertiefung der geometrischen Abbildung „Verschiebung“.

Die Escher-Parkettierungen ermöglichten einen intuitiven Zugang zum Thema „Parkettierung“ und motivierten die Schülerinnen und Schüler sehr zur intensiven Auseinandersetzung. Dabei motivierte der ästhetische Zusammenhang von Mathematik und Kunst. Die vorhandenen GeoGebra-Dateien und insbesondere die Vorlage für das Erstellen eigener Kacheln haben die Schülerinnen und Schüler beim entdeckenden Lernen der Zusammenhänge und dem Erstellen eigener Parkettierung zielgerichtet unterstützt. Durch fehlerhaftes Verwenden eigener Mustervorlagen konnten systematische Fehler erkannt, benannt und im Anschluss auch vermieden werden. Darüber ließ sich das Konzept der Parkettierung sehr gut altersgerecht vertiefen, dennoch fiel die Umsetzung eigener Ideen mit Hilfe der DGS schwer. In diesen Fällen konnte aber auf die Datei Mustervorlage\_linear.ggb zurückgegriffen werden. Die Schülerinnen und Schüler konnten ganz unterschiedliche Schwerpunkte einbringen: Manche haben sich sehr intensiv mit den Möglichkeiten von GeoGebra auseinandergesetzt, andere haben sich besonders auf die kreative Ausarbeitung einer möglichst schönen Parkettierung konzentriert.

intuitiver Zugang

### Mastermind-Kärtchen

Die Mastermind-Aufgaben wurden am Leibniz-Gymnasium Essen im Rahmen einer wöchentlichen einstündigen Mathematik-AG eingesetzt. Bereits mit dem Erfassen der Spielregeln diskutierten die Schülerinnen und Schüler intensiv und hochmotiviert über Aufgaben und Lösungen; häufig wurde auch außerhalb der AG-Sitzungen weiter diskutiert und das Spiel gespielt. Kritisch beobachteten wir, dass die Aufgaben ausschließlich intuitiv und nicht strukturiert gelöst wurden. Erst die Frage nach der Anzahl aller möglichen Lösungen motivierte zu Fallunterscheidungen, zum Ausschließen von Teillösungen und vor allem zum Begründen von eindeutigen Aussagen (Abbildung 17).

## 4. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen, Perspektiven

Die vorhandenen Materialien des Projektes MAfiSuS, in Kombination mit den beigefügten Handreichungen für Lehrkräfte, ermöglichen es Lehrerinnen und Lehrern, eine interessante und ansprechende AG für mathematisch interessierte Schülerinnen und Schüler mit vertretbarem Aufwand anzubieten.

vertretbarer Aufwand

Die Materialien sind für die Jahrgangsstufen 5 bis 7 vollständig ausgearbeitet. Zur entsprechenden Förderung älterer Schülerinnen und Schüler kann die Materialienreihe fortgesetzt werden. In diesem Rahmen bietet es sich an, neben den Aufgaben der Deutschen Mathematik-Olympiade auch die stark anwendungsbezogenen Aufgaben der A-lympiade zu verwenden. An der Aufbereitung von A-lympiade-Aufgaben wird derzeit von motivierten Lehrkräften gearbeitet.

Ebenso sollen verstärkt Module zur Anwendung von elektronischen Werkzeugen wie beispielsweise Funktionsplotter, Tabellenkalkulation usw. angeboten werden.

### Arbeits- gemeinschaften

Kolleginnen und Kollegen, die sich bisher noch nie mit Förderangeboten beschäftigt hatten, konnten nur in geringer Zahl erreicht werden. Wünschenswert wäre es, dass mehr Schulen auch mathematische Angebote im Rahmen von Arbeitsgemeinschaften anbieten. Vielleicht gelingt es zudem, dass einige der Projekte im Rahmen des normalen Mathematikunterrichts eingesetzt werden, um damit auch Schülerinnen und Schüler zu motivieren, an regionalen oder überregionalen Wettbewerben teilzunehmen oder sich in ihrer Freizeit mit mathematisch herausfordernden Fragestellungen auseinanderzusetzen.

Dieses SINUS-Projekt ermöglicht ein Förderangebot im Sinne der gemeinsamen Initiative von Bund und Ländern zur Förderung leistungsstarker und potenziell besonders leistungsfähiger Schülerinnen und Schüler (2016).

## Literatur

- Bernert, C., Grande, V., Roeseler, K. & Stroth, K. (2008). *Mathematischer Korrespondenzzirkel Göttingen*. Verfügbar unter <http://www.math.uni-goettingen.de/zirkel/infoseite/index.html> [05.12.2017].
- Hebisch, P. D. (2017). *Mathematisches Café*. Verfügbar unter <http://www.mathe.tu-freiberg.de/~hebisch/cafe/mce/escher.html> [04. 12 2017].
- König, H. (1996). *Aufgabensammlungen für Arbeitsgemeinschaften und Anleitungen für AG-Leiter*. Verfügbar unter <http://www.sn.schule.de/~bezirkskomitee/AUFGS-Uebersicht.htm> [04.12.2017].
- Kultusministerkonferenz (2016). Gemeinsame Initiative von Bund und Ländern zur Förderung leistungsstarker und potentiell besonders leistungsfähiger Schülerinnen und Schüler. (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Hrsg.). *Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 10.11.2016*.
- Mathematik Olympiaden e.V. (2017). *Mathematik-Olympiaden*. (Hereus-Verlag, Hrsg. & M. O. e.V., Produzent). Verfügbar unter <http://www.mathematik-olympiaden.de/moev/index.php/aufgaben/jahresbaende> [05.12.2017].
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2013). *Impulse für einen kompetenzorientierten Mathematikunterricht. Materialien und Anregungen zur Unterrichtsentwicklung – Berichte aus den SINUS.NRW-Projekten* (SINUS.NRW, Nr. 9050/1, 1. Aufl.). Handreichung. Düsseldorf.
- Qualitäts- und Unterstützungsagentur – Landesinstitut für Schule NRW (2017). *SINUS NRW*. Verfügbar unter [www.sinus.nrw.de](http://www.sinus.nrw.de) [05.12.2017].



## Projektgruppe

### Set-Mitglieder:

Dr. Thomas Giebisch, Leibniz-Gymnasium, Remscheid  
Gaby Heintz, Zentrum für schulpraktische Lehrerbildung, Neuss  
Steffen Heyroth, Leibniz-Gymnasium, Essen  
Matthias Lippert, Röntgen-Gymnasium, Remscheid  
Dr. Frederik Magata, Gymnasium Gerresheim, Düsseldorf  
Stefan Möllenberg, Gymnasium Gerresheim, Düsseldorf  
Dr. Holger Reeker, Reinoldus- und Schiller-Gymnasium, Dortmund  
Burkhard Rüsing, Collegium Augustinianum Gaesdonck, Goch  
Ellen Voigt, Gymnasium Bayreuther Straße, Wuppertal

### Projektkoordination:

Michael Rüsing, B. M. V. – Gymnasium, Essen



## Mathematikunterricht 4.0

Wie wird der Mathematikunterricht an unserer Schule, dem Franz-Stock-Gymnasium in Arnsberg (FSG), in zehn Jahren aussehen, wenn wir umfangreicher und intensiver digitale Medien zur Unterstützung von Lernprozessen einsetzen (vgl. Pallack, 2016)? Unter diesem Motto startete unser Projekt mit der Einführungsphase in die gymnasiale Oberstufe im Schuljahr 2014/15 im Rahmen des Landesvorhabens SINUS.NRW. Der Schülerjahrgang 2014/15 war der erste, der in der Einführungsphase nach den neuen kompetenzorientierten Kernlehrplänen (MSW, 2014) unterrichtet wurde, sodass wir auch aus diesem Grund eine hohe Motivation hatten, zu untersuchen, welchen Beitrag der Einsatz digitaler Medien bei der unterrichtlichen Umsetzung der im Lehrplan ausgewiesenen Kompetenzerwartungen leisten kann. Unsere Projektgruppe nahm sich vor, hierzu Unterrichtsideen, -materialien und -szenarien zu entwickeln und zu erproben.

In diesem Beitrag berichten wir über den Verlauf unseres Projektes bis zum Frühjahr 2017, in dem die oben genannten Schülerinnen und Schüler ihre Abiturprüfung abgelegt haben. Ergänzend stellen wir im Netz die von uns für die Einführungsphase entwickelten Materialien und weitergehende Informationen zur Verfügung. Die Adressen sind im Beitrag an entsprechender Stelle angegeben.

**ergänzende  
Materialien**

### 1. Ausgangslage und Zielsetzungen

Unser Projekt startete mit einer Planungsphase Ende 2013. Die Gruppe bestand aus fünf Lehrkräften, die sich in dieser Phase wöchentlich zusammensetzten. Wir teilten die Überzeugung, dass der Einsatz digitaler Medien in den Händen von Schülerinnen und Schülern gerade auch im Mathematikunterricht besondere Möglichkeiten und Chancen für den Kompetenzerwerb bietet. Dabei haben wir das Spektrum der Medien, die wir einsetzen wollten, deutlich breiter gefasst als die Medien, die im Kernlehrplan und in den Bildungsstandards der KMK mit dem Begriff „Werkzeuge“ belegt sind. Wir wollten von vornherein auch solche Medien für das Mathematiklernen fruchtbar machen, die Schülerinnen und Schüler täglich und selbstverständlich nutzen – also insbesondere das Smartphone, das im Unterricht zur Kommunikation, zur Dokumentation (Text, Bild, Video) sowie als Client für weitere zahlreiche im Unterricht gewinnbringend einzusetzende Apps genutzt wird.

**Smartphone  
im Unterricht**

Uns war bewusst, dass der unterrichtliche Einsatz von privaten Schülergeräten hinsichtlich datenschutzrechtlicher und urheberrechtlicher Fragen, einer Vermischung von schulischer und privater Sphäre und einer heterogenen

Ausstattung mit Geräten nicht unproblematisch ist. Dennoch haben wir uns dadurch nicht von unserem Vorhaben abhalten lassen und versucht, Lösungen und Antworten auf Fragen zu finden, die sich in diesem sensiblen Bereich im Verlauf des Projektes stellten.

### schuleigene Medienkonzepte

Neben den Erprobungen an der eigenen Schule konnten wir unsere Ideen und Beispiele in Vorträgen und Workshops mit Lehrkräften und Multiplikatorinnen und Multiplikatoren z. B. aus der Medienberatung breit streuen und trafen dabei auf ein großes Interesse. So haben sich bereits andere Schulen auf den Weg gemacht, unseren Ansatz zur Weiterentwicklung ihrer schuleigenen Medienkonzepte (vgl. z. B. Radzimski-Coltzau & Burghardt, 2017) zu nutzen.

Rückmeldungen und Erkenntnisse aus diesen Schulen flossen im letzten Projektjahr in die Überarbeitung und erneute Erprobung unserer bereits entwickelten Beispiele ein. Auf dieser Grundlage hat sich das FSG auf den Weg gemacht, ein Gesamtkonzept zur reflektierten Nutzung von digitalen Medien im Mathematikunterricht zu entwickeln.

### Umgang mit anfänglicher Skepsis

Anfangs gab es erwartungsgemäß in unserer Fachschaft auch Stimmen, die unserem Vorhaben kritisch oder abwartend skeptisch gegenüberstanden. So haben wir auch nicht von vornherein versucht, alle Fachlehrkräfte zum Mitmachen zu überreden, sondern uns mit den Motiven bzw. Ursachen für diese Haltung auseinandergesetzt.

Zum einen scheint eine (noch) nicht als ausreichend empfundene Infrastruktur (Hardware/Internetzugang) für diese Kolleginnen und Kollegen ein Problem zu sein. Die Haushaltslage an unserer Schule lässt nur sukzessive Optimierungen zu. Auch die Administration der technischen Systeme war und ist nicht immer im wünschenswerten Umfang gesichert, sodass eine zu große Abhängigkeit von einer möglicherweise nicht immer funktionierenden Technik befürchtet wurde. Eine besondere Hürde stellte zudem eine mangelnde Vertrautheit im eigenen Umgang mit digitalen Medien dar. Hier wurden zu Recht Fortbildungsangebote erwartet.

### Fortbildung der Lehrkräfte

Um einer möglichen Skepsis von Eltern zu begegnen, haben wir eine Informationsveranstaltung für die Eltern und Erziehungsberechtigten zu Beginn der Einführungsphase durchgeführt. Denn nur eine gute Zusammenarbeit von Schulleitung, Lehrkräften und Erziehungsberechtigten führt nach unseren Erfahrungen zu einem nachhaltigen und erfolgreichen Einsatz digitaler Medien in der Schule.

### Projektverlauf

Im Vordergrund der Planungsphase ab Ende 2013 stand das Sich-Vertraut-Machen mit den gängigsten digitalen Medien entweder durch Selbststudium oder durch kurze schulinterne Fortbildungen anhand von bereits von einzelnen Kolleginnen und Kollegen erprobten Unterrichtsmaterialien. Auf unseren wöchentlichen Gruppentreffen zeigte sich, dass bereits eine Vielzahl von guten Ideen aus dem „normalen Unterrichtsalltag“ vorhanden war und diese nur noch für den Einsatz in der Oberstufe und damit für die Nutzung in unserem Projekt optimiert werden mussten. In diesem Zusammenhang wurden auch erste Arbeitsblätter entwickelt und untereinander ausgetauscht.

Nach und nach zeigten weitere Kolleginnen und Kollegen Interesse an Fortbildungsangeboten von Mitgliedern der Projektgruppe. Aus diesen anfangs recht kurzen Fortbildungen entwickelte sich in den letzten beiden Projektjahren ein in

unregelmäßigen Abständen stattfindendes Angebot an Fortbildungsnachmittagen für die gesamte Mathematik-Fachschaft des FSG oder auch für Teilgruppen der Fachschaft. So werden beispielsweise neue Kolleginnen und Kollegen zeitnah im Umgang mit den bei uns verfügbaren digitalen Medien geschult, und das Vorstellen von „Good Practice“ zum Einsatz digitaler Medien ist mittlerweile gängige Praxis. Dabei kommen uns die inzwischen gut ausgebaute Infrastruktur sowie die personelle Situation zu Gute. Neben Mitgliedern der Kompetenzteams (Mathematik und Medienberatung) haben wir im Kollegenkreis Moderatorinnen und Moderatoren des T<sup>3</sup>-Netzwerkes und weitere seit einigen Jahren im Bereich Fort- und Weiterbildung im Fach Mathematik aktive Lehrkräfte. Dadurch können wir aus den eigenen Reihen immer wieder vielfältige und kreative Impulse setzen.

„Good Practice“

Gerade am Anfang eines solchen Vorhabens wird man nicht allen Ansprüchen gerecht, die mit dem Einsatz der digitalen Medien einhergehen. Aber da wir uns gemeinsam eingearbeitet und kontinuierlich voneinander gelernt haben, konnten aufkommende Bedenken gegenüber unserem Vorhaben schnell reduziert und mittlerweile nahezu vollständig abgebaut werden.

Bis zu den Sommerferien 2014 entstanden so in Kleingruppen die ersten Arbeitsblätter inklusive eines didaktischen Kommentars, die in der Einführungsphase im neuen Schuljahr zum Einsatz kommen sollten. Um den Ablauf innerhalb der sieben Mathematikurse der Einführungsphase besser koordinieren und ein einigermaßen gleichsinniges Vorgehen gewährleisten zu können, wurde der Einsatz der entwickelten Arbeitsblätter im Konsens mit allen Fachlehrkräften im schulinternen Curriculum verankert. Außerdem wurden Wochenarbeitspläne oder auch binnendifferenzierende Aufgabenlisten und (digitale) Checklisten zu den einzelnen Unterrichtsvorhaben erstellt. Aufgrund der Fülle der Materialien werden im Rahmen dieser Veröffentlichung nur das Material der EF und ausgewählte Inhalte der Q1 von uns bereitgestellt. Diese Materialien sind online verfügbar und beziehen sich in der Regel auf unser Schulbuch, den aktuellen Lambacher-Schweizer NRW für die Einführungsphase (2015). Neben dem Lambacher-Schweizer NRW werden am FSG in einigen Kursen in der Einführungsphase und in den Mathematikleistungskursen die entsprechenden Bände von Bigalke-Köhler (2015a, b) parallel eingesetzt.

Die weiteren Materialien für die Q-Phase sind auf der Schulwebseite auf Nachfrage ([info@fsg-arnsberg.de](mailto:info@fsg-arnsberg.de)) und nach Übersendung eines Passwortes verfügbar. Für die Schülerinnen und Schüler waren die Inhalte des Kurses in einem passwortgeschützten Bereich einer Cloud im Internet zugänglich. Sie konnten dort alle Arbeitsblätter, Aufgabenlisten und Checklisten herunterladen und selbst erstellte Lösungen oder Lernvideos einstellen. Der Umgang mit der Plattform in der Cloud erwies sich als recht kompliziert, da die meisten Lernenden nicht an dieses System gewöhnt waren und im ersten Durchlauf der EF hinsichtlich der Techniknutzung ziemlich stark geführt werden mussten.

In den folgenden Jahrgängen haben wir nach diesen ersten Erfahrungen den Anteil der online bereitgestellten Materialien reduziert, dies auch aufgrund der Tatsache, dass wir mittlerweile über eine eigene Messenger-App verfügen, mit der wir z. B. in Echtzeit Lösungen und Videos problemlos an die Kurse verteilen können. Darüber hinaus nutzen wir einen einfach zu handhabenden digitalen Notizblock mit komfortablen Möglichkeiten für die Strukturierung (Buch-Metapher) und Seitengestaltung der eingestellten Informationen (u. a. Texte, Grafiken, andere Dateien). Das FSG hat sich für die Software OneNote entschieden.

Messenger-App

**Mediendidaktik**

Immer wieder erreichen uns Anfragen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht auch mit Blick auf andere Fächer. Aus diesem Grund wurde die für Mediendidaktik am FSG verantwortliche Kollegin, die selbst nicht das Fach Mathematik unterrichtet, in das Vorhaben eingebunden. Gemeinsam erarbeiteten wir ein Programm für interessierte Besucherinnen und Besucher unserer Schule, welches die Chancen der Mediennutzung nicht nur im Mathematikunterricht, sondern auch in anderen Fächern beinhaltet.

**Zukunftsschulnetzwerk**

Denn im Zuge des Projektes wurden am FSG Strukturen geschaffen, die es allen Fächern ermöglichen, den Einsatz digitaler Medien im Unterricht voranzutreiben (vgl. Radzinski-Coltzau & Burghardt, 2017). Auch wurde von unserer Seite der Kontakt zu anderen Schulen mit vergleichbaren Ansätzen gesucht, um unsere eigenen Ansätze und Konzepte stetig im Vergleich zu überprüfen, zu optimieren und auszuscharfen. Als Folge davon arbeitet das FSG als Referenzschule in Kooperation mit dem Annette-von-Droste-Hülshoff-Gymnasium Münster und dem Theodor-Heuss-Gymnasium Waltrop in dem ersten Zukunftsschulnetzwerk „Digital Science: MINT mit GTR & Co“, in dem schwerpunktmäßig die digitale Messwerterfassung im MINT-Bereich (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) thematisiert wird (vgl. <https://www.fsg-arnsberg.de/zukunftsschulen-nrw/>).

## 2. Beispiel(e) für einen Mathematikunterricht mit digitalen Medien

Im Folgenden stellen wir zwei Beispiele für den Mathematikunterricht mit digitalen Medien näher vor. Weitere Beispiele werden, wie oben ausgeführt, zum Download angeboten.

### Beispiel EF: Wir tanzen Funktionen

Für den Einstieg wird ein Bild (Abbildung 1) angeboten, in dem jüngere Schüler versuchen, von Beispielen auf einen allgemeinen Zusammenhang zu schließen.



Abbildung 1: Schließen vom Beispiel auf allgemeine Regeln

Damit vorbereitet wird der Arbeitsauftrag 1, in dem Wertetabellen erstellt werden. Anhand des Bildes können Aspekte wie Unterschiede zwischen den Intervallen  $]-\infty, -1[$ ;  $]-1, 0[$ ;  $]0, 1[$  und  $]1, \infty[$  bezüglich der Funktionswerte von Potenzfunktionen herausgearbeitet werden. Folgende Anschlussfragen bieten sich an: „Ist  $x^4$  immer größer als  $x^2$ ?“ oder „Für welche  $x$  ist  $x^5$  größer als  $x^3$ ?“

Zum Ausfüllen der Tabelle wird das digitale Medium Funktionenplotter verwendet, indem die Terme als Funktionen eingegeben und entsprechende Wertetabellen angezeigt werden. In diesem einfachen Fall kann die Ausgabe des Rechners auf Plausibilität geprüft werden – zusätzlich erhält man auch die Graphen der angegebenen Potenzfunktionen.

**Funktionenplotter**

### Arbeitsphase

Je nach Verlauf des Unterrichts, nämlich dann, wenn Lernende Schwierigkeiten haben, den Verlauf von Potenzfunktionen zu beschreiben, muss bereits früh mit der Sicherung begonnen werden – Arbeitsauftrag 3 kann dann vorgezogen werden.

Mit Arbeitsauftrag 2 werden Potenzfunktionen mit der Stellung der Arme verbunden. Die Erfahrung zeigt, dass diese Art des Memorierens besonders eindrücklich ist, da zum einen leicht darauf zurückgegriffen werden kann und es – bei gutem Arbeitsklima in der Lerngruppe – Spaß macht.

Aus urheberrechtlichen Gründen kann ein Material hier nicht angeboten werden, das sich jedoch als besonders motivierend erwies. Es handelt sich um Ausschnitte aus dem Film „Saturday Night Fever“ mit John Travolta<sup>1</sup>. Ab 1:43 Minuten kann eine spezifische Bewegung des Films gut analysiert werden: Es handelt sich um eine Auf- und Ab-Bewegung des rechten Arms. Mit ein wenig Phantasie kann dieses durch abwechselndes Plotten der Potenzfunktionen  $-x^2$  und  $-x^3$  dargestellt, also modelliert werden. Es bietet sich an, diese Choreographie im Plenum zu bearbeiten und dabei auch die Rolle des Minuszeichens zu klären.

Die Choreographien aus Arbeitsauftrag 2 können anschließend von den Lernenden erarbeitet werden. Eine Präsentation bietet sich in diesem Fall an. Das kann live im Klassenraum geschehen oder mittels Filmaufnahmen mit Handys oder Tablets. Im zweiten Fall ist es erfahrungsgemäß förderlich für die Bereitschaft der Schülerinnen und Schüler, ihre Choreographie als Aufzeichnung vorzustellen, wenn man ihnen vorab mitteilt, dass die Filmaufnahmen direkt nach der Präsentation gelöscht werden.

**Funktionen tanzen**

Je nach Leistungsfähigkeit der Lerngruppe kann – bei gutem Verlauf – die mit Arbeitsauftrag 3 intendierte Sicherung an die Schülerinnen und Schüler übergeben werden. Lehrbücher bieten hier meist gute Lehrtexte. Zentral für die Nachhaltigkeit des vorgestellten Ansatzes ist der stetige Rückgriff auf die Ebene der Argumentation. Lernende, die den Verlauf der Potenzfunktionen begründen können, werden leichter Zugang zur Symmetrie von Funktionen, zum Verhalten von Funktionen im Unendlichen sowie zum Verhalten von Funktionen nahe bei Null finden.

Springt die Lerngruppe auf die mit Arbeitsauftrag 2 verbundene Bewegung gut an, kann ergänzend ein Musikvideo aufgenommen werden. Dazu bieten sich Apps wie Video Star an – ein GEMA-freies Lied „Show me a nice X“ liegt dem Material bei.

1 Unter <http://youtu.be/N6IgSRGIScs> kann man einen Filmausschnitt anschauen.

## Beispiel Q1 Leistungskurs: Der Einsatz eines Spirometers zur Bestimmung des Lungenvolumens mit Hilfe der Integralrechnung

**Messwerverfassung** Digitale Medien bieten Chancen für Anwendungsbezüge im Mathematikunterricht. Ein Beispiel: Mit Hilfe von Messwerverfassungssystemen werden Kurven in realen Situationen vom CAS-Taschenrechner TI-*n*Spire aufgezeichnet und daraus Schlussfolgerungen auf die maximale Sauerstoffaufnahmefähigkeit der Schülerinnen und Schüler gezogen.

Ein normaler Tag in einem Mathematikleistungskurs am FSG. Ein normaler Tag? Die Schülerinnen und Schüler des Leistungskurses von Herrn Burghardt trafen sich diesmal zu einer Stunde im hauseigenen Kraftraum des Franz-Stock-Gymnasiums in Arnsberg. Unterstützt wurde der Lehrer dabei von Frau Simon. Die Lernenden wurden zwar schon das eine oder andere Mal von den kreativen Unterrichtsideen der beiden überrascht, aber im Mathematikunterricht Sportkleidung anzulegen, sorgte dann doch für ungläubiges Staunen und gespannte Erwartung. „Naja, immerhin ist Herr Burghardt auch Sportlehrer und wird sich etwas dabei denken ...“ (O-Ton einer Schülerin).

### Lungenvolumen

Nachdem alle versammelt waren, wurde das Thema der Stunde „Bestimmung des Lungenvolumens mit Hilfe der Integralrechnung“ bekannt gegeben und fand bei vielen Schülerinnen und Schülern großen Anklang. Schließlich besuchte ein Großteil neben dem Mathematik- auch den Sport-LK. Die eingesetzte Technik wurde von den beiden Lehrkräften kurz erläutert, letzte Fragen geklärt und los ging es mit den Messungen. Dank der verwendeten Geräte war dieser Teil ohne Probleme umsetzbar. Im Anschluss an die Erfassung der benötigten Daten wurde in den Nebenraum gewechselt und die Gruppen begannen mit der Auswertung der Daten, um die Lungenvolumina zu bestimmen.

Zu Beginn wurden beispielhaft die Werte eines Schülers, die bei verschiedenen Belastungsstufen vorab aufgezeichnet worden waren, in Form eines Gruppen- bzw. Expertenpuzzles analysiert, um dem Kurs die notwendigen Schritte zur Bestimmung des Lungenvolumens zu verdeutlichen. Die Ergebnisse wurden besprochen und als Hausaufgabe sollten die eigenen Werte berechnet werden. Das Arbeitsmaterial dazu steht unter der nebenstehenden Adresse zum Download zur Verfügung (<https://www.fsg-arnsberg.de/sinus-nrw/>).

Abschließend einige Erläuterungen zu dieser drei Unterrichtsstunden umfassenden Unterrichtssequenz: Das verwendete Spirometer zeichnet die Luftdurchflussgeschwindigkeit beim Atmen auf und der TI-*n*Spire CAS zeigt den zugehörigen Graphen an. Wird nun die Fläche zwischen diesem Graphen und der x-Achse innerhalb eines Atemzuges berechnet (ein- oder ausatmen, also zwischen zwei Nullstellen), so entspricht das Ergebnis dem Lungenvolumen der Testperson während eines Atemzuges.

Die Messungen können von mehreren Testpersonen oder unter verschiedenen äußeren Bedingungen (Belastungen) durchgeführt werden. Das führt zu verschiedenen Ergebnissen, die unter biologischen oder sportlichen Aspekten interpretiert werden müssen.

Die Berechnung des Lungenvolumens startet mit der Modellierung eines möglichen Funktionsterms:

Eine erste Idee ist eine Funktion zweiten Grades im Intervall I, also von einer Nullstelle bis zur nächsten, mit einem Hoch- oder Tiefpunkt:



Beispiel:  $I = [5,5 ; 9], HP (7,25 | 3)$

$$f(x) = -0,98 x^2 + 14,2 x - 48,5$$

Berechnung des Flächeninhalts unter der Funktion im Intervall :

$$\int_{5,5}^9 f(x)dx = 6,78 \approx 7$$

Mit dem TI-*n*Spire CAS sind die für die Modellierung erforderlichen Gleichungen einfach zu lösen. Das öffnet Zeitfenster, um mit der Lerngruppe über das Thema „Genauigkeit der Ergebnisse“ in ein Gespräch zu kommen: Durch die Wahl der Intervalle, unterschiedlicher Nullstellen und Extrema werden abweichende Ergebnisse erzielt. Auch ist zu diskutieren, ob eine Funktion zweiten Grades ausreicht, um die Atemkurve darzustellen, oder ob sich eine Funktion vierten Grades nicht besser eignet. Zur weiteren Diskussion laden auch unterschiedlich hohe Ein- und Ausatemkurven ein. Wie groß ist der Messfehler?

**Modellierung**

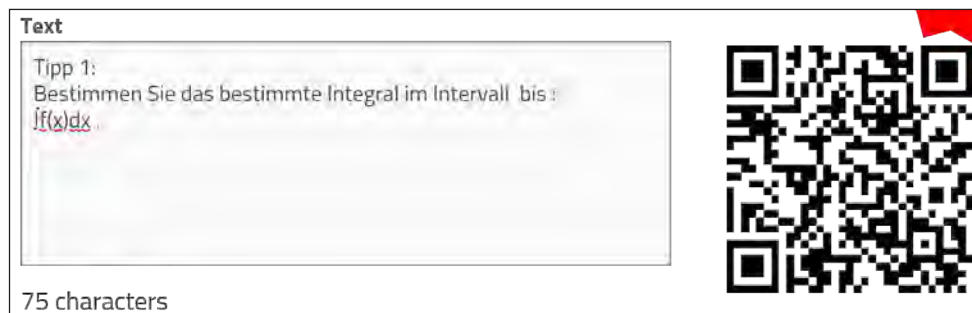


Abbildung 2: Screenshot von <http://goqr.me> mit eingefügtem Textbeispiel

Die Hilfestellungen zu den einzelnen Aufgaben zu dieser Unterrichtssequenz wurden auf den Arbeitsblättern als QR-Codes gespeichert, sodass Lerngruppen sie mit einem Tablet oder Smartphone und der entsprechenden App je nach Bedarf entschlüsseln können. Da der Text direkt in den QR-Codes gespeichert wird, ist zum Entschlüsseln keine Internetverbindung notwendig. Mit dieser Variante der Hilfestellung entfällt das Bedrucken unterschiedlicher Kärtchen und Verpacken in Briefumschlägen. Eine dafür geeignete App ist z. B. bei *QR Droid Private* zu finden.

**Hilfen über QR-Codes**

QR-Codes, in denen Text etwa als „Hilfekarte“ hinterlegt ist, lassen sich mit Hilfe entsprechender Webseiten sehr leicht selbst generieren. Bei der Suchanfrage „QR Code generieren“ werden direkt mehrere Webseiten angezeigt (z. B. <http://goqr.me>). Auf der entsprechenden Seite erscheint ein Textfeld, in das ein beliebiger Text oder eine Formel eingefügt werden kann. Neben dem eingegebenen Text erscheint der zugehörige QR-Code. Dieser kann kopiert und an beliebiger Stelle in ein Textdokument eingefügt werden. Bei der Textlänge ist eine Beschränkung auf etwa 300 Zeichen sinnvoll, andernfalls werden die QR-Codes schlecht lesbar oder sie müssen sehr groß abgebildet werden, damit die Kamera sie problemlos erfassen kann (vgl. Simon, 2017).

### 3. Thesen zum Medieneinsatz an unserer Schule

Die Diskussionen um den verstärkten Einsatz digitaler Medien in den Schulen werden häufig von technisch wichtigen, aber pädagogisch wenig relevanten Fragen dominiert – etwa: Eignet sich ein Tablet-PC besser als ein grafischer Taschenrechner (GTR)?

Statt über Chancen und Möglichkeiten des Medieneinsatzes für das kompetenzorientierte Lernen nachzudenken, beschränkt sich eine solche Diskussion auf die Auswahl des vermeintlich vorteilhaftesten technischen Gerätes. Im Kern sollte es aber um die Frage gehen: Wie gestaltet man (schulische) Bildung in einer zunehmend von digitalen Medien durchdrungenen und vernetzten Welt?

Diese Frage ist äußerst vielschichtig und komplex. Auf der Grundlage unserer unterrichtlichen Erfahrungen versuchen wir trotzdem eine erste, sicherlich subjektive und vorläufige Antwort darauf zu geben, indem wir vier Thesen formulieren, die unseres Erachtens zentrale pädagogische Herausforderungen der Entwicklung skizzieren und entsprechende Handlungsfelder markieren:

- Die universelle Verfügbarkeit digitaler Medien im Unterricht prägt und verändert Kommunikation auch in Lernkontexten.
- Der Umgang mit digitalen Medien erweitert das bisherige Repertoire der traditionellen Kulturtechniken (Lesen, Schreiben, Rechnen).
- Digitale Medien können das fachliche Lernen bereichern.
- Digitale Medien müssen selbst Gegenstand des (fachlichen) Lernens sein.

#### These 1: Veränderte Kommunikation

Dass sich Kommunikation durch digitale Medien wie z. B. soziale Netzwerke verändert und dass dies auch kritisch betrachtet werden muss, ist unstrittig. Die zahlreichen Handyverbote in Schulen sind ein Beleg dafür. Wir haben uns entschlossen, hinsichtlich des verantwortungsvollen Umgangs mit digitalen Medien, die Schülerinnen und Schüler besitzen und täglich nutzen, präventiv zu agieren und u. a. Kommunikation in Lernprozessen in der gymnasialen Oberstufe durch den Einsatz von Handys zu unterstützen. Für Schülerinnen und Schüler bzw. deren Eltern, die private Handys nicht besitzen oder für unterrichtliche Zwecke nicht verwenden möchten, stehen im FSG Leihgeräte zur Verfügung.

Nicht nur für den Mathematikunterricht bietet der Handyeinsatz die Möglichkeit, fachliche Fragestellungen nicht nur im direkten Gespräch, sondern auch zeitversetzt in Chats zu bearbeiten, sofern Lehrkraft und Schülerinnen und Schüler diese Möglichkeit in gegenseitigem Einvernehmen und auf freiwilliger Basis nutzen möchten. Ferner können Feedback-Prozesse im Unterricht (z. B. kurze Umfragen zu Lerninhalten unter Wahrung der Anonymität der Antwortenden) mit geringem Aufwand realisiert werden. Zur Organisation von Lernprozessen ist der Handyeinsatz von Vorteil, wenn Termine geklärt, Raum- oder Zeitänderungen mitgeteilt oder auch Dateien mit Schülerlösungen oder Aufgaben verteilt, eingesammelt oder untereinander ausgetauscht werden sollen.

Grundlage für dieses alles ist die Verwendung einer Messenger-App in den Kursgruppen. Wir waren uns aber auch einig, dass beispielsweise das von Schülerinnen und Schülern genutzte WhatsApp dafür nicht der geeignete Dienst ist, schon allein wegen der Vermischung von schulischer und privater Nutzung des Dienstes sowie wegen der einzuhaltenden Datenschutzbestimmungen. Daher haben wir den Kontakt zu einem Software-Entwickler gesucht und uns dazu entschlossen, einen auf unsere Belange zugeschnittenen eigenen Messenger in einem

schnelles  
Feedback

intensiven Rückkopplungsprozess zwischen technischer Entwicklung und unterrichtlicher Erprobung programmieren zu lassen – den *Sepia Messenger*.

### Sepia Messenger

Sepia Messenger ist eine Softwarelösung, die Funktionen für eine gruppenbasierte Kommunikation und ein gruppenbasiertes Feedback bietet. Neben Messenger-typischen Funktionen wie z. B. Austausch von Nachrichten oder Dateien sind insbesondere auf einen Einsatz in Schulen, aber auch auf andere Einsatzfelder wie z. B. Tagungen und Workshops ausgerichtete weitere Anforderungen umgesetzt worden. So können z. B. Umfragen schnell und unkompliziert erstellt werden, so dass Handy-gestützte Feedback-Prozesse (audience response) ermöglicht werden.

Die Software basiert auf einem Client-Server-Modell, das mehrere Arten von Endgeräten zulässt. Die Clientseitige Nutzung ist möglich über

- ein *Web-Portal*, für den Einsatz auf PCs mittels Web-Browser,
- eine *native App*, für Android und iOS (derzeit nicht für Windows),
- eine *Web-App*, für den herstellerunabhängigen Einsatz auf mobilen Geräten mittels Web-Browser.

Zur Nutzung ist für die jeweilige Institution ein Zugang zu einem Server nötig. Für Benutzer können persönliche Accounts erstellt und nach einem Registrierungsverfahren von diesen unmittelbar verwendet werden. Die Besonderheit bei der Registrierung liegt darin, dass keine persönlichen Daten eingegeben werden müssen. Es wird keine Verknüpfung mit der eigenen Handynummer oder dem eigenen Namen erstellt. Später kann optional ein (Nick-) Name selbst eingegeben werden, der den anderen Nutzern in Kontaktlisten angezeigt wird. Zunächst erfolgt die Registrierung jedoch über einen zufällig erstellten Registrierungscode (auch in Form eines QR-Codes).

Der Sepia Messenger Server-Dienst kann der nutzenden Institution (z. B. einer Schule) auf zwei Arten bereitgestellt werden:

- mit *Sepia Messenger SaaS* („Software-as-a-Service“) wird der Dienst auf einem Server in einem externen Rechenzentrum in Deutschland betrieben und zur Verfügung gestellt.
- mit *Sepia Messenger On-premises* erfolgt die Installation auf einem eigenen Server der Institution.

### Perspektive der App-Entwicklung

An unserer Schule testen wir den Sepia Messenger seit dem Frühjahr 2016 in der gymnasialen Oberstufe. Eine erste Erprobung in der Mittelstufe steht in Kürze bevor. Die App ist kontinuierlich um weitere Funktionen ergänzt worden. Die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen.

Die bisherige Resonanz auf die App ist gut. Es ließen sich schnell Kolleginnen und Kollegen finden, die zum Testen bereit waren. Auch die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler sind von den verfügbaren Funktionen der App durchaus überzeugt.

Wir werden weiterhin an der Entwicklung mitwirken und sehen nach wie vor Bedarf an einer eigenen Softwarelösung, da die asynchrone Kommunikation zwischen Schülerinnen und Schülern sowie Lehrkräften über einen Messenger in unserem Vorhaben inzwischen etabliert ist und wir vor dem Hintergrund unserer pädagogischen Anforderungen einen Einfluss auf die Entwicklung nehmen können. Der schulische Einsatz von Sepia Messenger ist nach Rückkopplung

**Datenschutz** mit dem für das FSG zuständigen Datenschutzbeauftragten auch unter rechtlichen Aspekten abgesichert. Das erforderliche Verfahrensverzeichnis wurde erstellt. Wir achten darauf, dass Schülerinnen und Schülern, die bzw. deren Erziehungsberechtigte einer Verwendung des Messengers nicht zugestimmt haben, dadurch keine Nachteile entstehen, etwa indem wir in diesem Fall ein Tandem in Form einer Patenschaft zwischen zwei Schülern etablieren, sodass der eine (Handynutzer) den anderen (ohne Handy) bei einem mediengestützten Material- oder Informationsaustausch mitversorgt.

### **These 2: Erweiterung der Kulturtechniken**

Neue digitale Hilfsmittel wie z. B. Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, grafische Taschenrechner, Software zur Bild- oder Videobearbeitung oder zur Erstellung von Hypertexten (z. B. Webseiten), die Text-, Bild-, Ton- und Videoelemente in einem Dokument integrieren und nicht-lineare Strukturen ermöglichen, bieten neue weitreichende Möglichkeiten der Darstellung und Ausdrucksformen. Insofern erweitern sie die traditionellen Kulturtechniken Lesen, Schreiben und Rechnen. Daher sind wir der Meinung, dass sie wie die „traditionellen Drei“ im Unterricht gelernt werden müssen.

### **These 3: Digitale Medien und fachliches Lernen**

Zur These „Digitale Medien können das fachliche Lernen bereichern“ findet man viele Hinweise und Beispiele in den einschlägigen Fachdidaktiken zur Mathematik. Wir fokussieren daher in diesem Beitrag auf Aspekte, die uns aufgefallen sind und in den Fachdidaktiken bisher keine große Beachtung finden. So fordern Lehrkräfte häufig mehr Sorgfalt von ihren Schülerinnen und Schülern, zum Beispiel beim Bearbeiten von Aufgaben im Fachunterricht. Wie kann man hier motivieren und unterstützen? Wir haben gute Erfahrungen damit gemacht, dass man Schülerprodukte in den Mittelpunkt des Unterrichts stellt. Das kann z. B. die Bearbeitung einer Aufgabe sein, die mit einer Kamera gesichert oder im Klassenraum projiziert wird. Das können aber auch Kurzvorträge sein, die in einem Video festgehalten und präsentiert werden. Dadurch werden fachbezogene Kompetenzen gefördert: So bekommt nach unseren Beobachtungen z. B. die Fachsprache ein deutlich größeres Gewicht, weil Schülerinnen und Schüler durch die Präsentation angehalten und motiviert sind, ihre Worte mit Bedacht zu wählen.

Der Aufwand für solche Präsentations- und Bearbeitungsformen muss nicht hoch sein. Wir nutzen das Smartphone, das heute die meisten Schülerinnen und Schüler in die Schule mitbringen.

**Erklär- oder Lernvideos**

Die beste Motivation zur Erstellung von guten Produkten erreicht man unseren Erfahrungen nach, wenn Schülerinnen und Schüler eigene Erklär- oder Lernvideos erstellen. Denn dazu ist es notwendig, sorgfältig und gründlich zu arbeiten, strukturiert zu notieren und zu erklären. Da die Mitschülerinnen und Mitschüler das Produkt anschauen und auch einmal kritische Rückmeldung dazu geben, weckt man den Ehrgeiz auch derjenigen, die ansonsten vielleicht nicht ganz so gewissenhaft und gründlich arbeiten.

Als Beispiel hierzu sei die Vorbereitung auf das Abitur in den diesjährigen Mathematik-Leistungskursen genannt. In der Vorbereitungsphase war das notwendige Zeitpolster vorhanden, um sich intensiv mit Qualitätsmerkmalen und der technischen Umsetzung von Erklärvideos zu beschäftigen: Zunächst wurden unterschiedliche Beispielvideos im Netz aus Bereichen des täglichen Lebens

analysiert. Schülerinnen und Schüler erarbeiteten auf dieser Grundlage (in einer Schulstunde) Qualitätskriterien für Erklär- oder Lernvideos. Anschließend ging es in Kleingruppen an die Produktion erster Videos zu den Mathematik-Beispielaufgaben auf den Seiten der QUA-LiS NRW und des IQB. Diese wurden nach einer Präsentation der Gruppen anhand der festgelegten Kriterien von den Schülerinnen und Schülern des Kurses bewertet und ggf. optimiert. Im weiteren Verlauf der Unterrichtsreihe bereiteten Schülerinnen und Schüler in Zweiergruppen Abituraufgaben aus den vorausgegangenen Jahrgängen so vor, dass sie eine Stunde mit folgender Ablaufstruktur halten konnten.

Zu Beginn wurde ein Impulsreferat zum Schwerpunktthema der Aufgabe gehalten, um das Vorwissen der Mitschülerinnen und Mitschüler zu aktivieren. Anschließend wurden die Aufgaben von den Mitschülerinnen und Mitschülern bearbeitet. Die verantwortlichen Schülerinnen und Schüler begleiteten die Bearbeitung auf der Grundlage ihrer in der Vorbereitung gewonnenen Expertise. Zur Vorbereitung der Unterrichtsstunde musste die Zweiergruppe Hilfekarten vorbereiten und geeignete Sozialformen für die Arbeitsphase festlegen.

Nach der Arbeitsphase wurde die Aufgabe im Plenum besprochen und es wurde auf kritische Stellen eingegangen. Mit diesen Informationen erstellte die Zweiergruppe dann das Erklärvideo zur Aufgabe, in dem die einzelnen Lösungsschritte aufgeführt und die kritischen Stellen detailliert erklärt wurden, und machte es den übrigen Schülerinnen und Schülern des Kurses via Cloud zugänglich. Diese Form der Nutzung eines Schülerproduktes kam bei den angehenden Abiturientinnen und Abiturienten sehr gut an und steigerte die Motivation für die Wiederholung der abiturrelevanten Inhalte. Die Methode empfiehlt sich daher vermutlich auch in anderen Schulstufen und Fächern.

#### These 4: Digitale Medien als Gegenstand des Lernens

Digitale Medien sind selbst Gegenstand des fachlichen Lernens, aber auch des überfachlichen Lernens mit dem Ziel, die Teilhabe und Mündigkeit in einer durch Digitalisierung geprägten Wirtschaft und Gesellschaft zu ermöglichen. Zu Letzterem gibt es zurzeit eine ganze Reihe von Initiativen von Kommunen, Ländern und Bund, auf die in diesem Beitrag nicht näher eingegangen wird. Wir beschränken uns hier auf ein Beispiel zum fachlichen Lernen.

In unserem Projekt in der Einführungsphase Mathematik wurde vor dem Hintergrund der Kompetenzerwartung „Schülerinnen und Schüler reflektieren und begründen die Möglichkeiten und Grenzen mathematischer Hilfsmittel und digitaler Werkzeuge“ des Kernlehrplans das *Newton-Verfahren* thematisiert.

Wurde der Newton-Algorithmus in den ausgehenden 1980er und 1990er Jahren auf den ersten in der Schule verfügbaren Rechnern noch von Schülerinnen und Schülern selbst programmiert, um dadurch das Verständnis der Methode zu fördern, „verbergen“ heute verfügbare Werkzeuge wie der GTR den Algorithmus in Funktionen, die sich den Schülerinnen und Schülern gegenüber als Blackbox darstellen. Anhand von mathematischen Funktionen, bei denen das Newton-Verfahren versagt, lassen sich solche Grenzen in digitalen Medien implementierter Algorithmen untersuchen. Dabei werden en passant auch informatische Kompetenzen gefördert.

**Grenzen von  
Algorithmen**

## 4. Gelingensbedingungen und mögliche Gefahren des Medieneinsatzes

Die Zielsetzung eines stärkeren Einsatzes digitaler Medien zur Unterrichtsentwicklung erfordert eine gründliche Planung und Reflexion, um über den Kreis der „Pioniere“ hinaus weitere Lehrkräfte sowie Schülerinnen und Schüler für den Entwicklungsprozess zu gewinnen und Frustrationen vorzubeugen.

### Technische und organisatorische Voraussetzungen

Welche Lehrkraft kennt z. B. das nicht: Es ist geplant, in der kommenden Stunde die iPads einzusetzen, aber es fehlen Kabel, das WLAN fällt aus oder die Kollegin war schneller und setzt die Geräte zur selben Zeit in ihrem Unterricht ein etc. pp.

Die eingesetzte Technik muss also robust und möglichst omnipräsent verfügbar sein – in allen Räumen und zu jeder Zeit. Am Franz-Stock-Gymnasium wurde in der Vorlaufphase des Projektes die Entscheidung getroffen, alle Räume mit einer Projektionsmöglichkeit und einer Dokumentenkamera auszustatten. Zudem wurde die Möglichkeit geschaffen, mit verhältnismäßig geringem Aufwand in jedem Raum auf ein WLAN zugreifen zu können. Die intensiven Bemühungen, einen Internetanschluss mit der notwendigen Bandbreite zu erhalten, nahmen allerdings fast drei Jahre in Anspruch – ein „langer Atem“ war erforderlich. Weitere technische Systeme wie z. B. DVD-Player, Tablet-Koffer oder Mess-Sensorik können an unserer Schule durch Ausleihe flexibel und mit relativ geringem Aufwand in die Infrastruktur eines jeden Klassenraumes eingebunden werden.

### Unterrichtsgestaltung als entscheidender Faktor

So wichtig eine Ausstattung mit technischen Geräten ist, entscheidend für den Entwicklungsprozess sind Fragen der Unterrichtsgestaltung. Natürlich beeindruckt in der Anfangsphase ein Raum mit einer neu beschafften interaktiven Tafel, in dem jede(r) Lernende über ein eigenes Endgerät verfügt, das vollständig in das Netzwerk der Schule eingebunden ist. Die interaktive Tafel wird ihr Potenzial für das Lernen jedoch nur entfalten können, wenn Lehrkräfte sie in geeigneter Weise im Unterricht einsetzen.

Wir haben die Erfahrung gemacht, dass die Frage nach einer geeigneten medialen Infrastruktur nur vor dem Hintergrund identifizierter Inhalte, Ziele und Methoden zur Vermittlung fachlicher Kompetenzen beantwortet werden kann.

Die mediale Infrastruktur in Verbindung mit der Art und Weise ihres Einsatzes im Unterricht muss eine kognitive Aktivierung der Schülerinnen und Schüler unterstützen. Wir haben uns diesbezüglich intensiver mit der Theorie der „instrumentalen Genese“, wie sie z. B. bei Drijvers & Trouche (2008) beschrieben wird (siehe dazu auch Guin & Trouche, 2002).

Diese Theorie steht im Einklang mit unserer Beobachtung, dass der Einsatz digitaler Medien eingebettet in geeignete Lernarrangements das Lernverhalten der Schülerinnen und Schüler positiv verändert. Dazu erforderlich sind u. a. veränderte Aufgabenstellungen, sodass Schülerinnen und Schüler das volle Potenzial digitaler Medien auch ausschöpfen können (vgl. Barzel & Greefrath, 2015).

Wir haben versucht, solche Aufgabenstellungen möglichst so zu gestalten, dass sie ohne Probleme und ohne großen Aufwand von jeder Lehrkraft im Fach Mathematik eingesetzt werden können.

kognitive  
Aktivierung

Nach und nach konnten wir im Rahmen der Entwicklung und Erprobung von Aufgabenbeispielen und Lernarrangements „Domänen des Mathematiklernens mit neuen Medien“ identifizieren, die voraussichtlich auch mittel- und langfristig von Bedeutung sein werden, auch wenn die dann verfügbare Technik vermutlich ganz anders als heute aussehen wird (vgl. Abbildung 3).

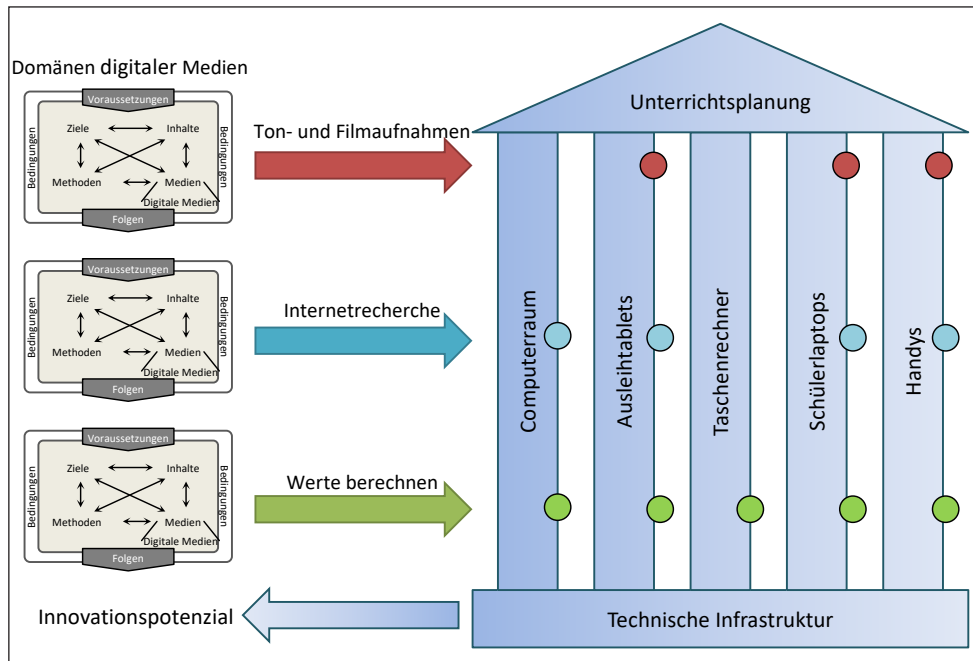


Abbildung 3: Domänen digitaler Medien und die derzeit am FSG verfügbaren technischen Geräte

Neben dem Einsatz der o.g. digitalen Systeme (Dokumentenkameras, Handys als Werkzeuge für die asynchrone Kommunikation sowie als Kamera etc.), mit denen wir in unserem Projekt erste Erfahrungen gesammelt haben, werden natürlich auch die bereits seit längerer Zeit verfügbaren digitalen Werkzeuge wie Funktionenplotter, Tabellenkalkulation, Geometriesoftware und Computer-Algebra-Systeme weiterhin eingesetzt. Zu deren Wirkungen, Chancen und Möglichkeiten liegen zahlreiche wissenschaftliche Studien vor. Wir weisen auf einige für unser Projekt wesentliche Aspekte hin, die insbesondere mit der Veränderung von Schüler- und Lehrerrolle infolge des Medieneinsatzes zu tun haben.

Der Einsatz eines Computer-Algebra-Systems (CAS) bietet nur dann einen Mehrwert, wenn die Lehrkraft im Lernprozess weniger als Lenker und Instrukteur sondern als Begleiter und Berater der Lernenden in deren selbstgesteuertem Lernprozess fungiert (Müller, 2014). Beim Einsatz von CAS steht der fachliche Diskurs der Schülerinnen und Schüler untereinander im Vordergrund (z.B. Barzel, 2006). Lehrmethoden wie ein überwiegend von der Lehrkraft zentral gesteuerter Unterricht mit hohen Redeanteilen der Lehrkraft werden in CAS-Klassen seltener als in herkömmlichen Klassen beobachtet (Barzel, 2012; Neill, 2009; Smith, 2006).

Wir selbst haben in den Oberstufenkursen die Erfahrung gemacht, dass die in den Studien genannten Effekte durch den Einsatz von mediengestützter asynchroner Kommunikation oder selbstständiger Dokumentation von Erarbeitungsprozessen mit Handy & Co. noch weiter verstärkt werden.

**selbstgesteuertes  
Lernen**

Die Frage nach Ursache und Wirkung ist anhand der Daten der empirischen Studien nur schwer zu klären: Ob ein CAS im Unterricht eingesetzt wird, weil die Lehrkraft ihr Methodenspektrum über traditionelle Lehrmethoden hinaus erweitern möchte oder ob erst der Einsatz eines CAS die Rolle der Lehrkraft im Unterricht und dadurch ihre Haltung zum Medieneinsatz verändert, kann anhand der Daten nicht oder nur unzureichend geklärt werden. Im Endeffekt ist dies aber auch nicht entscheidend, sofern Medien überhaupt angemessen eingesetzt werden. Dies bringt uns zur Frage:

### **Wann setzen Lehrkräfte DM überhaupt ein? Wie kann man Lehrkräfte dazu bewegen, Medien einzusetzen?**

Wir haben uns im Verlauf des Projektes Gedanken gemacht, welche grundlegenden Faktoren dafür überhaupt maßgeblich sind, dass Lehrkräfte digitale Medien in ihrem Unterricht einsetzen. Dazu liegen ebenfalls zahlreiche Befunde aus der Wissenschaft vor. Wir stützen uns insbesondere auf eine Untersuchung von Kreijns u. a. aus dem Jahr 2013, die hier: <https://www.fsg-arnsberg.de/wp-content/uploads/2015/05/Warum-setzen-Lehrkräfte-digitale-Medien-ein.pdf> näher vorgestellt wird.

#### **Selbstwirksamkeitserwartung**

Demnach hat die eigene Haltung gegenüber der Nutzung von digitalen Medien den stärksten Einfluss auf die Bereitschaft, digitale Medien für das Lernen zu nutzen. Dabei spielt die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkraft eine große Rolle, also die Überzeugung, mit dem von der Lehrkraft geplanten Medieneinsatz eine Verbesserung des unterrichtlichen Lernens bewirken zu können. Eigene Kenntnisse und Vertrautheit im Umgang mit digitalen Medien in Arbeitskontexten außerhalb des Unterrichts (z. B. Unterrichtsvor- und Nachbereitung) haben hier einen positiven Effekt.

Hat man den Schritt in den Unterricht erst einmal gewagt, verstärkt sich – auch nach unseren Erfahrungen – die Bereitschaft zum Medieneinsatz noch weiter, u. a. durch äußeren Druck von Seiten der Schülerinnen und Schüler, die in der Regel den Medieneinsatz in Verbindung mit adäquaten Unterrichtsmethoden als positiv erleben.

#### **Kooperation der Lehrkräfte**

Förderlich auf eine positive Haltung zum Medieneinsatz im Unterricht wirkt sich darüber hinaus eine gute Kooperation mit Kolleginnen und Kollegen aus, die dem Einsatz digitaler Medien gegenüber aufgeschlossen sind.

Normative Vorgaben z. B. durch Lehrpläne tragen nach der Untersuchung hingegen kaum dazu bei, dass digitale Medien im Unterricht eingesetzt werden. Die Studie bezieht sich allerdings nicht auf Deutschland, sodass sich die Frage stellt, inwieweit die Ergebnisse auf die hiesigen Verhältnisse übertragbar sind. Uns haben die Ergebnisse jedenfalls geholfen, unsere Eindrücke und Beobachtungen im Projektverlauf in einen Zusammenhang zu bringen und zu deuten.

Viele Kolleginnen und Kollegen an unserer Schule, die den Schritt zum mediengestützten unterrichtlichen Lernen bisher noch nicht gewagt haben, nutzen digitale Medien für ihre eigene Arbeit. Ein Blick ins Lehrerzimmer zeigt, dass Laptop, Tablet, Handy & Co. bei vielen Lehrkräften täglich eingesetzt werden, um zum Beispiel den Vertretungsplan vom Server abzurufen, Arbeitsblätter zu erstellen oder um miteinander zu kommunizieren. Im Großen und Ganzen ist eine positive Einstellung zu diesen Techniken vorhanden. Darauf kann man aufbauen und durch die Bereitstellung von Praxisbeispielen und mit Fortbildungsangeboten dafür sorgen, dass Kolleginnen und Kollegen ihre technischen und didak-



tisch-methodischen Kenntnisse zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht vertiefen können.

### Mögliche Gefahren des Einsatzes digitaler Medien

Oben wurde bereits darauf hingewiesen, dass bei Nutzung von GTR oder CAS ein vertieftes Verständnis der „im Verborgenen“ ablaufenden Prozesse nicht erreicht wird oder verloren geht. Dem versuchen wir, wie oben bereits an einem Beispiel erläutert, dadurch entgegenzuwirken, dass das Medium selbst zum Gegenstand der Betrachtung gemacht wird. In Klassenarbeiten und im Abitur wurde ein hilfsmittelfreier Aufgabenteil eingeführt, sodass Schülerinnen und Schüler basale Fertigkeiten und ein vertieftes Verständnis nachweisen müssen. Aus dem Unterricht heraus muss sichergestellt werden, dass alle Schülerinnen und Schüler auch Grundfertigkeiten, wie z. B. das Umformen und Vereinfachen von Termen, ebenfalls sicher beherrschen.

Der Einsatz von schülereigenen Geräten wie Tablet-PC (auch das haben wir ausprobiert) oder Handy birgt ebenfalls spezifische Gefahren: Lernende benötigen ein hohes Maß an Disziplin, um den Ablenkungsversuchen, die mit ihren eigenen Geräten gegeben sind, zu widerstehen. Selbst auf schuleigenen Geräten ist das Web mit seinen Verlockungen nur einen Klick entfernt. Wir versuchen, durch verschiedene Maßnahmen aufklärend und präventiv zu agieren, z. B. durch die Ausbildung von Medienscout & Medien Counselors, durch pädagogische Tage mit dem Schwerpunktthema Medien und durch Einbeziehung von Eltern und Erziehungsberechtigten, u. a. mittels eines Erfassungsbogens, in dem Eltern und Schülerinnen und Schüler festlegen, welchen Bereichen der Mediennutzung sie zustimmen.

Bei der unterrichtlichen Kommunikation mit Schülerinnen und Schülern in gängigen sozialen Netzwerken ist die Beachtung rechtlicher Aspekte und Datenschutzbestimmungen nicht sicherzustellen. Vor diesem Hintergrund sind Systeme, die speziell für den unterrichtlichen Gebrauch entwickelt werden (z. B. LOGINEO NRW oder unsere Sepia Messenger App), vorzuziehen. In jedem Fall ist der/die für die Schule zuständige Datenschutzbeauftragte in den Planungsprozess einzubeziehen.

Eine weitere Herausforderung stellt das Urheber- und Nutzungsrecht dar. Mittels Kamera und Cloud-Dienst können urheberrechtlich geschützte Materialien schnell auf den Schulserver gelangen und von dort ohne vorherige Einholung von Nutzungsrechten verbreitet werden. Neben angemessener Sensibilität aller Beteiligten bedarf es hier auch vorbeugender organisatorischer Maßnahmen, um Urheberrechtsverletzungen auszuschließen.

## 5. Fazit

Das Lernen mit digitalen Medien verändert Schule als Ganzes. Bewusst haben wir deswegen den Begriff „digitale Medien“ im Mathematikunterricht deutlich umfassender verstanden, als es zum Beispiel die Bildungsstandards der KMK für die Allgemeine Hochschulreife oder auch die Kernlehrpläne vorsehen. Viele unserer Ansätze haben sich als sehr fruchtbar herausgestellt, sodass es lohnt, sie weiter zu verfolgen. Wir haben die Erfahrung gemacht, dass digitale Medien, in geeigneten Unterrichtsarrangements eingesetzt, ein Katalysator für die fachliche Unterrichtsentwicklung sein können.

Wir möchten mit unserem Beitrag und den Materialien aus unserem Vorhaben dazu ermutigen, sich auf einen verstärkten Medieneinsatz im Unterricht einzulassen und sich auf den Weg zu machen in Richtung *Mathematik 2028*. Für Hinweise und Rückmeldungen zu unseren Materialien sind wir dankbar.

## Literatur

- Barzel, B. (2006). Mathematikunterricht zwischen Konstruktion und Instruktion: Evaluation einer Lernwerkstatt im 11. Jahrgang mit integriertem Rechneinsatz. *Journal für Mathematik-Didaktik (JDM)*, 27 (3/4), 321–322.
- Barzel, B. (2012). *Computeralgebra im Mathematikunterricht. Ein Mehrwert – aber wann?* Münster: Waxmann.
- Barzel, B. & Greefrath, G. (2015). Digitale Mathewerkzeuge sinnvoll integrieren. In W. Blum, S. Vogel, Ch. Drüke-Noe & A. Roppelt (Hrsg.), *Bildungsstandards aktuell: Mathematik in der Sekundarstufe II* (S. 147–157). Braunschweig: Schroedel Verlag.
- Bigalke A. & Köhler N. (2015a). *Mathematik Einführungsphase NRW*. Berlin: Cornelsen.
- Bigalke A. & Köhler N. (2015b). *Mathematik Qualifikationsphase Leistungskurs NRW*. Berlin: Cornelsen.
- Drijvers, P. & Trouche, L. (2008). From artifacts to instruments: A theoretical framework behind the orchestra metaphor. In M. K. Heid & W. Blum (Hrsg.), *Research on Technology and the Teaching and Learning of Mathematics: Synthesis, Cases and Perspectives. Research Syntheses* (Band 1, S. 363–391). Charlotte, North Carolina: National Council of Teachers of Mathematics.
- Guin, D. & Trouche, L. (2002). Mastering by the teacher of the instrumental genesis in CAS environments: necessity of instrumental orchestrations, *ZDM – The International Journal on Mathematics Education*, 34 (5), 204–211. Verfügbar unter <http://subs.emis.de/journals/ZDM/zdm025a4.pdf> [23.05.2018].
- Kreijns, K. & Acker, F.V., Vermeulen, M., Buuren, H. van (2013). What stimulates teachers to integrate ITC in their pedagogical practices? The use of digital learning materials in education. *Computers in Human Behavior*, 29 (1), 217–225.
- Lambacher Schweizer Mathematik Einführungsphase NRW* (2015). Stuttgart: Klett.
- Lambacher Schweizer Mathematik Qualifikationsphase NRW* (2015). Stuttgart: Klett.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2014). *Kernlernplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen Mathematik*.
- Müller, M. (2014). *Zur Schülerorientierung im Mathematikunterricht mit Computeralgebra-Systemen*. Dissertation an der Universität Jena. Verfügbar unter [https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt\\_derivate\\_00030890/Diss/DIS\\_MM.pdf](https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00030890/Diss/DIS_MM.pdf) [04.03.2017].
- Neill, A. (2009). Key findings from the CAS pilot program. *The New Zealand Mathematics Magazine* 46 (1), 14–27.
- Pallack, A. (2016). Fit für die Zukunft? Mathematikunterricht 2024. In G. Heintz, G. Pinkernell & F. Schacht (Hrsg.), *Digitale Werkzeuge für den Mathematikunterricht – Festschrift für Hans-Jürgen Elschenbroich* (S. 112–126). Neuss: Verlag Klaus Seeberger.
- Radzinski-Coltzau, J. & Burghardt, S. (2017). Digitale Medien: Eine Chance für die Schulentwicklung. In C. Fischer (Hrsg.), *Pädagogischer Mehrwert? Digitale Medien in Schule und Unterricht* (S. 129–136). Münster: Waxmann.
- Simon, N. (2017). Atemlos. *CASIO-forum Schul- und Grafikrechner. Ausgabe 1/2017*, 10–11.
- Smith, D. (2006). CAS – a journey has begun in Aotearoa. *New Zealand Mathematics Magazine* 43 (2), 1–25.

## Projektbeteiligte

Renate Tewes

Sandra Zeisig-Goldmann

Tim Gerwin

Hubert Simon

Stefan Burghardt

Nora Simon

Dr. Andreas Pallack



Georg Trendel und Michael Lübeck

## Die Entwicklung experimenteller Kompetenzen

### Konstruktion von Aufgaben zur systematischen Kompetenzentwicklung und Kompetenzüberprüfung

Es werden Verfahren und Konstruktionsprinzipien vorgestellt, mit denen gezielt Lernaufgaben und Testaufgaben im Bereich experimenteller Kompetenzen in den Naturwissenschaften erstellt werden können. Damit lassen sich einerseits gezielt bestimmte Kompetenzfacetten des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung ansteuern, andererseits kann auch der kognitive Anspruch von Lernprozessen situationsgerecht variiert werden. Die Verfahren eignen sich als Instrumente für die Planung und Durchführung eines binnendifferenzierten naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Es wird zunächst sehr detailliert beschrieben, was Schülerinnen und Schüler zum naturwissenschaftlichen Experimentieren wissen und können sollten. Es werden außerdem Gesichtspunkte aufgezeigt, nach denen sich die Schwierigkeit von Aufgaben unter Berücksichtigung ihrer Komplexität und der damit verbundenen kognitiven Anforderungen einstellen bzw. einschätzen lässt. Schließlich werden Kriterien zur Beurteilung der Aufgabenqualität entwickelt, die einen Zusammenhang zwischen Funktionen des Experiments, Zielsetzungen des Unterrichts und Lernvoraussetzungen der Lerngruppe herstellen. Die Verfahren der Aufgabenerstellung und die kriterielle Einordnung der Aufgaben werden anhand von Aufgabenbeispielen illustriert.

Die beschriebenen Vorgehensweisen wurden bereits im Rahmen verschiedener Projekte der QUA-LiS NRW zur naturwissenschaftlichen Unterrichtsentwicklung angewendet und haben sich dort als zielführend erwiesen. Die entwickelten Konzepte sollen in der nächsten Phase des SINUS-Projekts von mehreren Teilprojekten erprobt und auf ihre allgemeine praktische Umsetzbarkeit überprüft werden. Analoge Verfahren zur Konstruktion von differenzierten Aufgaben in den weiteren Kompetenzbereichen der Naturwissenschaften *Umgang mit Fachwissen, Kommunikation* und *Bewertung* sind in der Entwicklung.

#### 1. Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht

Die Naturwissenschaften stehen prototypisch für empirische Wissenschaften, die den Anspruch erheben, dass Aussagen zu Gesetzmäßigkeiten, Modellen und Theorien zumindest im Prinzip mit empirischen Verfahren wie Beobachtungen und Experimenten überprüfbar sein müssen (Popper, 1989). Folglich wird praktisches experimentelles Arbeiten auch als notwendiges Element eines authentischen naturwissenschaftlichen Unterrichts angesehen, wobei über die Bedeutung für unterschiedliche naturwissenschaftliche Lernprozesse eine Bandbreite unterschiedli-

cher Ansichten besteht (Höttecke & Rieß, 2015). Als Ziele werden oft genannt, mit Experimenten

- *das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte zu verbessern,*
- *wissenschaftspraktische Fertigkeiten und Fähigkeiten zum Problemlösen zu fördern,*
- *Interesse und Motivation zu wecken,*
- *das Verständnis naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zu verstärken.*

Die Bildungsstandards und die Kernlehrpläne in NRW räumen dementsprechend Experimenten in den Naturwissenschaften einen hohen Stellenwert ein und beschreiben im Bereich Erkenntnisgewinnung Kompetenzen, die sich auf bestimmte Schritte des Experimentierens beziehen. In fachdidaktischen Lehrbüchern findet man Lehrerhinweise wie Angaben zu Funktionen und zur Organisation von Experimenten im Unterricht sowie zu Zielsetzungen, die man damit erreichen will. Erstaunlicherweise gehen jedoch selbst aktuellere Standardwerke der Didaktik kaum darauf ein, was experimentelle Kompetenzen eigentlich sind, was Schülerinnen und Schüler also bezüglich des Experimentierens wissen und können sollten – und erst recht nicht, wie sie es denn lernen könnten. Es entsteht der Eindruck einer Erwartung, dass sich experimentelle Kompetenz im Verlauf des naturwissenschaftlichen Lernens irgendwie von selbst einstellt. In einer Replik auf Martin Wagenscheins Buch *Die pädagogische Dimension der Physik* etwa konstatierte H. Settler (1967, S. 158) in der Zeitschrift MNU:

*„Worin besteht also nun die pädagogische Dimension der Physik? [...] Der Physikunterricht hat nur eine Aufgabe, nämlich dem Schüler die Physik mitzuteilen: Ihren Inhalt (in Auswahl), in der ihr gemäßen Arbeitsweise, Denkweise und Sprache. Diese drei brauchen nicht explizit behandelt zu werden, sie können sich in der Unterrichtstätigkeit zwanglos mitteilen.“*

Diese Aussage mag aus heutiger Sicht in mancherlei Hinsicht als kurios erscheinen, aber was hat sich mit Blick auf das Lernen von experimentellen Denk- und Arbeitsweisen in der Praxis seitdem wirklich verändert? Im wohl umfangreichsten und bekanntesten deutschsprachigen Lehrbuch zur Physikdidaktik (Kircher, Girwidz & Häußler, 2015) ist der wesentliche Abschnitt zum Experimentieren im Kapitel *Medien* zu finden und umfasst gerade 13 Seiten, wobei der größte Teil den Funktionen für die Unterrichtsgestaltung gewidmet ist. Der Absatz *Physikalische Denk- und Arbeitsweisen einüben*, der sich am ehesten auf Schülerkompetenzen beziehen lässt, kommt mit einer halben Seite aus. Experimentieren wird eher als Lehrmethode gesehen, nicht so sehr als Kompetenz im Bereich der Erkenntnisgewinnung, die Lernende erwerben sollen und zum Lösen von Problemen nutzen können. Empirische Studien zum schulischen Experimentieren weisen darauf hin, dass vorhandene Potenziale für das Lernen bei Weitem nicht genutzt werden. Kognitive Anforderungen sind als gering einzuschätzen, die Diskrepanzen zu den erklärten Zielen sind groß. Schülerinnen und Schüler sehen den Sinn derartiger Aktivitäten tendenziell darin, Anleitungen wie Kochrezepte abzarbeiten oder das richtige Ergebnis zu erhalten. Sie verstehen aber nicht unbedingt, was sie warum tun, und lernen wenig über das Experimentieren selbst: *„To many students, a lab means manipulating equipment but not manipulating ideas“* (Lunetta, 1997). Einige Studien legen nahe, dass schlecht eingebundene praktische Aktivitäten Lernerfolge sogar behindern können (Kobarg, Altmann, Wittwer, Seidel & Prenzel, 2008; Fischer, Labudde, Neumann & Viiri, 2014).

Das Bildungsziel einer naturwissenschaftlichen Grundbildung, über das übrigens trotz der breiten internationalen Bedeutung in Deutschland nur wenig diskutiert wurde, beinhaltet als wesentliches Element, dass Heranwachsende nicht nur fertige Ergebnisse der Naturwissenschaften zur Kenntnis nehmen, sondern auch verstehen, woher man das weiß, wie man zu solchen Erkenntnissen kommen kann und nach welchen Kriterien diese zu beurteilen sind. Auch wenn die Wege der Wissenschaften komplex und vielfältig sind und es *die Methode der Erkenntnisgewinnung* nicht gibt, ist eine schülergerechte Rekonstruktion von bewährten Erkenntnisprozessen unverzichtbar. Hier besteht auch seitens der Fachdidaktiken noch deutlicher Handlungsbedarf. Unser Projekt soll einen Beitrag zur Entwicklung und Erprobung diesbezüglicher fachmethodischer Konzepte und Kompetenzen liefern. Wir orientieren uns an sogenannten hypothetisch-deduktiven Erkenntniswegen, deren Grundidee man in einem einfachen Schema folgendermaßen darstellen kann:

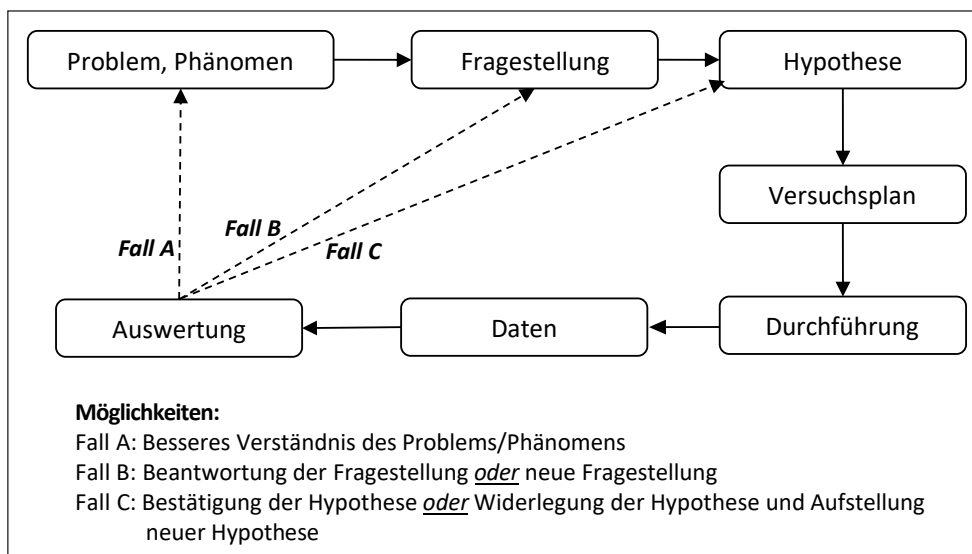


Abbildung 1: Hypothetisch-deduktiver Weg der Erkenntnisgewinnung (Schwerpunkt experimentelle Erkenntnisgewinnung)

Ausgehend von realen Phänomenen, Situationen oder Problemen, die zu einer Fragestellung führen, werden, gegebenenfalls vor dem Hintergrund theoretischer Überlegungen und bereits vorhandenen Wissens, zunächst Hypothesen zur Klärung des Problems bzw. Phänomens generiert. Es werden Möglichkeiten zur Überprüfung der Hypothesen überlegt und geplant (Versuchsplan). Die in der Hypothese formulierten Vorhersagen werden daraufhin auf der Ebene der Realität geprüft (Durchführung). Durch Übereinstimmungen der bei der Durchführung gewonnenen Daten mit der Hypothese kann diese bestätigt, die Fragestellung beantwortet und das Problem bzw. Phänomen besser erklärt und verstanden werden. Aus diesem besseren Verständnis heraus können sich dann durchaus weiterführende Fragestellungen mit weiteren Hypothesen ergeben, die zu neuen Versuchsplänen usw. führen. Treten Diskrepanzen zwischen der Hypothese und den neuen Daten auf, muss die Hypothese entweder angepasst oder sogar verworfen werden. In einigen Fällen (in Abbildung 1 nicht dargestellt) kann sich auch herausstellen, dass der Versuchsplan oder die Durchführung optimiert und wiederholt werden muss. Der Weg der hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnung ist häufig nicht derart linear und gradlinig, wie hier dargestellt. In aller Regel han-

delt es sich hierbei eher um einen iterativen Prozess, bei dem einige Schritte wiederholt und optimiert werden müssen, bis der Experimentator zu aussagefähigen Daten kommt.

Das vorliegende Projekt geht von der Annahme aus, dass ein erheblicher Entwicklungsbedarf zu Verfahren, Materialien und insbesondere geeigneten Aufgaben besteht, mit denen sich im Unterricht Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung systematisch entwickeln und überprüfen lassen. Es wird erwartet, dass diese Kompetenzen nicht nur fachmethodische Fähigkeiten betreffen, sondern auf alle Bereiche des naturwissenschaftlichen Lernens wirken. Sie ermöglichen in ihrer Verbindung von Handeln und Denken eine vertiefte Auseinandersetzung mit fachlichen Inhalten und ein besseres Verständnis fachlicher Ideen. Das Projekt möchte erkunden, wie sich Potenziale des Experimentierens für das Verstehen erweitern und damit fruchtbare Lernprozesse anstoßen lassen. Dazu sollen allgemeine Prinzipien und Konzeptionen zur systematischen Konstruktion von Aufgaben entwickelt werden, die den Erwerb experimenteller Kompetenzen fördern und sich auf alle drei Naturwissenschaften übertragen lassen. Es ist klar, dass die Erstellung von Aufgaben, seien es Lernaufgaben oder Aufgaben zur Überprüfung des Lernerfolgs, sich nicht nach einem vorgegebenen Schema automatisieren lässt, sondern immer auf die kreativen Ideen der Entwickler angewiesen ist. Dieser Prozess lässt sich jedoch durch Modelle und Prinzipien der Aufgabenentwicklung systemisch unterstützen und dadurch deutlich vereinfachen.

## 2. Bildungsziele, Aufgaben und die Entwicklung experimenteller Kompetenzen

Nach den für alle Bundesländer verbindlichen Bildungsstandards (KMK, 2005, S. 6) beinhaltet das Ziel einer naturwissenschaftlichen Grundbildung

*„Phänomene erfahrbar zu machen, die Sprache und Geschichte der Naturwissenschaften zu verstehen, ihre Erkenntnisse zu kommunizieren sowie sich mit ihren spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen auseinanderzusetzen. Typische theorie- und hypothesengeleitete Denk- und Arbeitsweisen ermöglichen eine analytische und rationale Betrachtung der Welt.“*

Dieses Ziel wird durch die Angabe von Kompetenzbereichen strukturiert, in Kernlehrplänen werden diese Bereiche dann über die Angabe notwendiger Prozesse weiter ausdifferenziert. In neueren Kernlehrplangenerationen in Nordrhein-Westfalen (MSW, 2013) werden im Bereich Erkenntnisgewinnung folgende Handlungsschritte, die sich dem Experimentieren zuordnen lassen, genannt:

- E1 Fragestellungen erkennen
- E2 Bewusst wahrnehmen
- E3 Hypothesen entwickeln
- E4 Untersuchungen und Experimente planen
- E5 Untersuchungen und Experimente durchführen
- E6 Untersuchungen und Experimente auswerten



Die Kernlehrpläne beschreiben zunächst Kompetenzen, die diesen Handlungen zuzuordnen sind, auf einem recht hohen Abstraktionsgrad. Inhaltliche Konkretisierungen der erwarteten Kompetenzen, die an anderer Stelle geliefert werden, verdeutlichen anhand bestimmter Situationen, in welcher Ausprägung Kompetenzen zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht sein sollten. Es ist jedoch nicht die Aufgabe von Kernlehrplänen, fachliche Inhalte bzw. fachdidaktisch sinnvolle Vorgehensweisen im Detail zu erklären. Mit Blick auf kompetenzorientierten Unterricht besteht damit seitens der Fachdidaktiken Handlungsbedarf.

Jede Art von Kompetenz ist außer durch spezifische Handlungsprozesse auch durch ein notwendiges Grundlagenwissen gekennzeichnet, das bewusstes Handeln (im Gegensatz zum einfachen *Tun* oder *Verhalten*) erst ermöglicht. Handlungsprozesse und Wissen müssen im Unterricht mit Hilfe von Erklärungen und Lernaufgaben explizit thematisiert werden, um Kompetenzen gezielt entwickeln zu können. Für die Konzeptentwicklung zur Aufgabenkonstruktion ergaben sich damit vier Fragen und entsprechende Arbeitskriterien:

*a. Welches Wissen und Können müssen Lernende erwerben, um experimentelle Kompetenzen zu besitzen?*

Das erforderliche Wissen und Können für die oben genannten Handlungsschritte sollte in ihren wesentlichen Facetten differenziert beschrieben werden. Die Beschreibungen machen für Lehrende und Lernende transparent, was eigentlich gelernt werden muss, und liefern Kriterien für Rückmeldungen.

*b. Wie können auf der Basis der Prozessbeschreibungen Aufgaben erstellt werden, mit deren Hilfe gezielt bestimmte Kompetenzfacetten entwickelt oder diagnostiziert werden können?*

Dazu sind plausible und übertragbare Konstruktionsverfahren zu finden. Abhängig vom Lernstand sollten dabei Möglichkeiten bestehen, die kognitiven Anforderungen und die Komplexität von Aufgaben und damit ihre Schwierigkeit gezielt zu variieren.

*c. Welche qualitativen Anforderungen müssen Aufgaben für verschiedene Funktionen des Experimentierens im Lernprozess erfüllen?*

Aufgaben müssten verschiedene Zielsetzungen in Lernprozessen unterstützen, wie z. B. Phänomene erkunden, Begriffe bilden oder Probleme lösen. Diese Unterschiede und Charakteristika entsprechender Aufgaben sind zu beschreiben.

*d. Welches Potenzial, den Unterricht zu verändern, besitzen die nach dem entwickelten Verfahren konstruierten Aufgaben?*

Es sollte möglich sein, die Aufgaben schrittweise in die bestehende Praxis einzubauen und ihre Wirkungen zu erproben, ohne den Unterricht kurzfristig radikal verändern zu müssen.

### 3. Prinzipien und Verfahren der Aufgabenkonstruktion

#### Zum Experimentieren: Erforderliches Wissen und Können

Um detailliertere Beschreibungen von experimentellem Handeln erstellen zu können, wurden in diesem Projekt zahlreiche Quellen von Lehrbüchern bis hin zu fachdidaktischer Literatur ausgewertet. Allerdings werden die Beschreibungen nicht als endgültig oder abgeschlossen verstanden, sondern könnten eine Grundlage für weitergehende Diskussionen und Konsensfindung auf verschiedenen Ebenen bieten. Insbesondere beziehen sich die Beschreibungen auf Unterrichtshandeln und erheben nicht den Anspruch, tatsächliche Forschungsprozesse in den universitären Bezugswissenschaften abzubilden. Sie zeigen vielmehr bewährte Wege auf, wie man vorgehen kann, um Ziele der Naturwissenschaften wie ein immer besseres und präziseres Verständnis natürlicher und technischer Vorgänge zu erreichen. Manche Aspekte sind bereits selbstverständliche Bestandteile traditioneller Unterrichtspraxis, manche werden bisher weniger beachtet. Manche sind für ein bestimmtes naturwissenschaftliches Fach bedeutender, manche für ein anderes.

#### Kompetenzfacetten

Die folgende Übersicht stellt die Kompetenzfacetten (E1 bis E6) der naturwissenschaftlichen Kernlehrpläne in NRW dar, die im Wesentlichen den experimentellen Handlungsschritten des hypothetisch-deduktiven Wegs der Erkenntnisgewinnung (vgl. Abbildung 1) entsprechen. Jede Kompetenzfacette ist dabei mithilfe von aufschließenden Aussagen stärker konkretisiert, als das in den Kernlehrplänen bisher der Fall ist. Diese Konkretisierung soll zu einem besseren Verständnis der Kompetenzfacetten beitragen und verdeutlichen, welche Fähigkeiten für eine Kompetenz in diesen Bereichen zu berücksichtigen sind:

#### E1 Fragestellungen erkennen

Schülerinnen und Schüler können den Erklärungsbedarf eines Sachverhalts identifizieren und Fragestellungen formulieren, die naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozessen (Beobachtungen, Experimenten, Modellierungen) zugrunde liegen und dabei prüfen, ob

- *im Prinzip naturwissenschaftliche Methoden zur Klärung beitragen können,*
- *sie zur Klärung des Sachverhalts relevant, passend und zielführend sind,*
- *sie präzise und eindeutig sind,*
- *ihnen naturwissenschaftliche Ideen zugrunde liegen.*

#### E2 Bewusst (beobachten und) wahrnehmen

Schülerinnen und Schüler können kriteriengeleitet beobachten und dabei

- *Kriterien der Beobachtung benennen und Erwartungen formulieren,*
- *Veränderungen wahrnehmen und beschreiben,*
- *die Beschreibung der Beobachtung von ihrer Deutung abgrenzen,*
- *die Präzision von Beobachtungen durch eine sachgerechte Auswahl und Verwendung von Instrumenten und Messgeräten steigern.*

### E3 Hypothesen entwickeln

Schülerinnen und Schüler können Vermutungen als Hypothesen formulieren und

- *diese auf vorliegende Fakten sowie theoretische Überlegungen bzw. Modelle beziehen,*
- *Bezug auf zugrunde liegende Fragestellungen nehmen,*
- *Möglichkeiten zu ihrer Überprüfung (experimentell, logisch-deduktiv) angeben,*
- *diese nach Überprüfung bestätigen, verwerfen oder modifizieren.*

### E4 Untersuchungen und Experimente planen

Schülerinnen und Schüler können gegebene und einfache selbst erstellte Versuchspläne erläutern, indem sie

- *Entscheidungen für ein qualitatives oder quantitatives Verfahren begründen,*
- *auf der Grundlage vorhandener Hypothesen zu untersuchende Variablen identifizieren,*
- *Variablen als abhängige, unabhängige oder Kontrollvariablen klassifizieren,*
- *Variablen nach dem Prinzip der Variablenkontrolle systematisch verändern bzw. konstant halten,*
- *Festlegungen für Messbereiche, die Anzahl der Messpunkte, Größen von Stichproben, Messintervalle und Messwiederholungen begründen,*
- *eine vorgenommene Idealisierung begründen,*
- *Kriterien für die Auswahl von Methoden und Geräten angeben,*
- *den experimentellen Aufbau beschreiben, Versuchsskizzen zeichnen und Datentabellen strukturieren,*
- *mit Blick auf die Hypothesen Erwartungen bezüglich des Versuchsausgangs formulieren,*
- *zum Ausschluss systematischer und zufälliger Effekte Kontrollansätze (z. B. Blind- und Doppelblindverfahren, Nulleffektmessung) diskutieren.*

### E5 Untersuchungen und Experimente durchführen

Schülerinnen und Schüler können selbstständig Untersuchungen und Experimente hypothesengeleitet und zielorientiert durchführen und dabei

- *Versuchspläne und Verfahrensschritte den Intentionen gemäß umsetzen,*
- *einfache standardisierte technische Verfahren und Geräte verwenden,*
- *Versuche gemäß Vorgaben oder einer Planung aufbauen,*
- *Risiken vermeiden und Sicherheitsmaßnahmen beachten,*
- *Fehlerquellen benennen sowie Fehler minimieren,*
- *die Genauigkeit bzw. Aussagefähigkeit durch Messwiederholungen steigern,*
- *Versuchsabläufe und Daten wahrheitsgemäß und mit angemessener Präzision protokollieren.*

### E6 Untersuchungen und Experimente auswerten

Schülerinnen und Schüler können unter Verwendung naturwissenschaftlichen Wissens Schlüsse aus einer Untersuchung oder einem Experiment ziehen und dabei

- *Beobachtungs- und Messdaten sinnvoll ordnen, strukturieren und visualisieren,*
- *qualitative und einfache quantitative Zusammenhänge, Korrelationen sowie einfache funktionale Beziehungen ableiten,*
- *zwischen Korrelationen und Kausalitäten unterscheiden,*
- *Daten bezüglich einer Fragestellung mit interpretieren,*

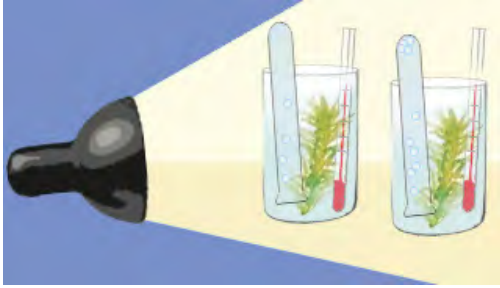
- *die Passung von Ergebnissen zu vorhandenen Hypothesen beurteilen,*
- *den Einfluss von zufälligen und systematischen Fehlern abschätzen,*
- *die Zuverlässigkeit und Aussagekraft von Ergebnissen einschätzen,*
- *Möglichkeiten zur Verallgemeinerung der Ergebnisse beurteilen.*

Auf den ersten Blick dieser Übersicht wird bereits deutlich, dass sich mit Hilfe von einzelnen oder auch von Kombinationen dieser Facetten eine große Vielfalt von Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten generieren lässt. Außerdem liefern die Facetten Ansatzpunkte für eine Beobachtung von Schülerhandlungen. Sie können als Kriterien für die Einschätzung von Schülerkompetenzen dienen (Diagnose) und ermöglichen damit einerseits die gezielte Aufarbeitung möglicher Defizite (individuelle Förderung) und andererseits eine fundierte und an Kriterien orientierte Leistungsbewertung (Überprüfung und Leistungsbeurteilung). Im folgenden Abschnitt wird gezeigt, wie die Menge an möglichen Aufgabenstellungen für bestimmte Unterrichtsziele reduziert oder erweitert werden kann.

### **Zur systematischen Konstruktion von Aufgaben**

Wie bereits beschrieben, passen die in der Übersicht näher konkretisierten Kompetenzfacetten E1 bis E6 der Kernlehrpläne sehr gut zu den Handlungsschritten einer hypothetisch-deduktiven Vorgehensweise. Das Experimentieren scheint auf den ersten Blick für den naturwissenschaftlichen Unterricht eine Selbstverständlichkeit und gängige Praxis. Wie oben schon angedeutet, stimmt dies allerdings in der Realität nur eingeschränkt. Es gerät langsam ins Bewusstsein, dass mit einer Forderung nach Kompetenzen (im Unterschied zu Fertigkeiten im Sinne eines bloßen „hands on“ oder unreflektierten „Tuns“) auch im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung neue Fachinhalte und fachmethodische Konzepte verbunden sind. Kompetenzen kann man nur erwarten, wenn diese auch gelehrt und entwickelt werden. Dieses gilt nicht nur für den Umgang mit Fachwissen, sondern auch für andere Bereiche wie das Experimentieren. Es muss also explizit unterrichtet und eingeübt werden, was man bezüglich des Experimentierens können und wissen sollte. Das kann über geeignete Aufgaben geschehen. Dazu ein Beispiel:

Die folgende Aufgabe (Variante A) aus einem älteren Lehrbuch (Bömer et al., 2002) enthält eine Arbeitsanleitung von recht konventionellem Typus für ein übliches Experiment zur Photosynthese.



*Bestrahle den frisch geschnittenen Trieb einer Wasserpestpflanze mit einer hellen Lampe. Protokolliere die Anzahl der Gasbläschen, die in 2 Minuten an der Schnittfläche aufsteigen. Führe mehrere Messungen bei voller Beleuchtung durch. Schalte dann die Lichtquelle aus. Wiederhole die Zählungen. Vergleiche. Verwende für die nächste Messung dieselbe Lichtquelle, verändere aber die Wassertemperatur. Was stellst du fest?*

Messung	Anzahl der Gasbläschen in 2 min			
	Temperatur 20° C		Temperatur 10° C	
	Licht an	Licht aus	Licht an	Licht aus
M1				
M2				
M3				
M4				

Abbildung 2: Grundaufgabe zur Photosynthese

Vorgegeben sind in dieser Aufgabe Hinweise zur Wahrnehmung (E2), ein Plan zum Experimentieren (E4), Angaben zur Durchführung (E5) und eine Tabelle zur Aufnahme der Messdaten. Fragestellungen (E1) und Hypothesen (E3) sind nicht angegeben, nach der Auswertung (E6) wird gefragt. Normalerweise wird erwartet, dass Schülerinnen und Schüler einer Lerngruppe die Versuchsanleitung sorgfältig lesen und schrittweise ähnlich wie ein „Kochrezept“ abarbeiten. Zum Schluss sollen Feststellungen getroffen und wahrscheinlich Schlussfolgerungen gezogen werden, die in Form eines Aha-Erlebnisses zu einer nicht näher beschriebenen Erkenntnis führen sollen. Die Aufgabe erscheint in dieser Form als kognitiv weniger herausfordernd, weil lediglich eine vorgegebene Anleitung abzuarbeiten ist, die zunächst wenig Nachdenken erfordert. Im Vordergrund stehen hiermit eine hinreichende naturwissenschaftliche Lesekompetenz sowie Kompetenzen im Bereich von Labortätigkeiten (Umgang mit Geräten, Ablesen von Messwerten etc.), nicht aber fachmethodische Konzepte und Denkweisen im Bereich der experimentellen Erkenntnisgewinnung.

Die Aufgabe nach der oben angegebenen Ursprungsvariante A lässt sich in ihren Zielen verändern, indem z. B. die Perspektive auf andere Kompetenzfacetten verschoben wird. Folgende völlig unterschiedliche Varianten sind zum Beispiel denkbar:

*Variante B: Nenne Fragestellungen, die diesem Experiment zugrunde liegen. Erläutere, wie die Fragestellungen mit den beschriebenen Methoden geklärt werden sollen.*

*Variante C: Nenne die Hypothesen, die mit den Experimenten überprüft werden sollen.*

*Variante D: Entwickle eine Messtabelle, in der du die Ergebnisse der Versuche geordnet und übersichtlich festhalten kannst (die Tabelle wäre in der Aufgabenstellung nicht vorgegeben).*

Dieses Beispiel zeigt, dass sich die häufig vorzufindende Monokultur experimenteller Aufgabenstellungen über zahlreiche Varianten möglicher Perspektiven und ihrer Kombinationen produktiv aufbrechen lässt. Insbesondere bieten sich Möglichkeiten, bestimmte Fähigkeiten gezielt einzutrainieren und diesbezügliche Lernergebnisse explizit festzuhalten, um in anderen Situationen daran zu erinnern. Dies fördert eine bewusste Begriffs- bzw. Konzeptbildung zum Experimentieren, was häufig allenfalls am Rande geschieht oder vernachlässigt wird. Zunächst soll jedoch festgehalten werden, dass hier schon die Aufgabenvarianten B bis D deutlich höhere kognitive Anforderungen als Variante A stellen, weil die Lösungen mehr Nachdenken und auch mehr Bezug auf vorhandenes Wissen einfordern.

Die folgende Übersichtstabelle stellt die Beispielaufgabe zur Photosynthese und die verschiedenen Aufgabenvarianten schematisch dar. In den Spalten sind die Kompetenzfacetten bzw. Handlungsschritte E1, E2 usw. angegeben. In den Zeilen ist die jeweilige Aufgabenvariante dargestellt. Die Kurznotation gibt an, ob Informationen gegeben sind (x) oder nicht () und zu welchen Schritten eine Lösung erwartet wird (?). Dort, wo ein Fragezeichen steht, werden für die Schülerinnen und Schüler gezielt Handlungssituationen geschaffen, die im Sinne eines handlungsorientierten Lernens („Denken ist Handeln“) in Bezug auf eine oder mehrere Kompetenzfacetten Anforderungen stellen und damit einen Beitrag zum Kompetenzerwerb leisten. Je nach Inhalt und Zielsetzungen könnte die Tabelle für weitere Aufgabenvarianten fortgeführt werden. Es hat sich herausgestellt, dass sich ein solches Schema mit der Möglichkeit, bestimmte Aspekte vorzugeben und andere offen zu lassen, in Kombination mit der Beschreibung von Kompetenzfacetten als ein produktives heuristisches Instrument zur Generierung zielgerichteter Lern- und Testaufgaben nutzen lässt. Es dient damit als Konstruktions- und Analyseraster für kompetenzorientierte Aufgaben im Bereich der (experimentellen) Erkenntnisgewinnung.

Tabelle 1: Raster zur Typisierung von Aufgabenvarianten

Aufgabenvariante	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
A		x		x	x	?
B	?	x		x	x	
C		x	?	x	x	
D		x		?	x	
E	x	?	?	?	?	?
F	x	x		x	x	x
G	x		x	x	x	x
...	...	...	...	...	...	...

### Zur Schwierigkeit von Aufgaben

Für verschiedene Lerngruppen und Lernkontexte sind unterschiedliche Arten von Aufgaben erforderlich, wobei insbesondere eine angemessene Schwierigkeit durch den Entwicklungsstand der Gruppe und die zu steuernden Lernprozesse bedingt ist. Wie nun lässt sich die Schwierigkeit von Aufgaben, die mit Hilfe des vorgestellten Konstruktionsschemas entwickelt werden, mit Blick auf die Fähigkeiten der Lerngruppe vorhersagen bzw. anpassen? Variante E in der oben angegebenen

Tabelle wäre z.B. ein Typus, bei dem nur eine Fragestellung vorgegeben ist und alle weiteren Schritte den Lernenden überlassen sind. In der Regel müssten deren Kompetenzen dafür schon weit entwickelt sein. Der Aufgabentypus F (nicht ausformuliert) könnte eher für Anfänger gedacht sein. Es werden alle Schritte (Hypothesen werden hier nicht benötigt) vorgegeben oder vorgemacht, sehr sinnvoll z.B. bei der Einübung des Umgangs mit ungewohnten Geräten. Auch beim Aufgabentypus G (nicht ausformuliert) ist viel vorgegeben. Wenn es sich z.B. um eine Aufgabe zur kritischen Beurteilung eines vorgegebenen Experiments handeln würde, dürfte die Schwierigkeit hoch sein, da hier ein fortgeschrittenes Verständnis und konzeptionelles Denken erforderlich sind. Die Schwierigkeit ist also nicht nur durch die Menge der Vorgaben oder bekannter Einzelheiten gekennzeichnet.

Als Modell für die Einschätzung von Aufgabenschwierigkeiten lassen sich in erster Näherung die Anforderungsbereiche der Bildungsstandards (Fachmethoden beschreiben (I), nutzen (II), auswählen und anwenden (III)) heranziehen. Einschätzungen hängen allerdings stark vom erteilten Unterricht und subjektiven Einschätzungen dazu ab und sind dementsprechend oft unzutreffend. AFB III bedeutet außerdem nicht zwingend eine große, AFB I nicht zwingend eine geringe Schwierigkeit: Auch wenn z.B. im Unterricht Messungen von Stromstärke und Spannung in verzweigten Stromkreisen experimentell durchgeführt und detailliert besprochen wurden, ist eine Testaufgabe, in der das Verfahren beschrieben werden muss, keineswegs als leicht anzusehen. Es sind bei der Beschreibung komplexe, teilweise konzeptuelle Zusammenhänge zu beachten, die ein tieferes Verständnis erfordern.

Als aussagefähiger hat sich für uns ein Kompetenzstrukturmodell erwiesen, das der Entwicklung von Testaufgaben im Ländervergleich 2012 zugrunde lag, das sogenannte ESNaS-Modell (Evaluation der Standards in den Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I) (IQB, 2013; Kauertz, Fischer, Mayer, Sumfleth & Walpuski, 2010).

**Kompetenzstrukturmodell**

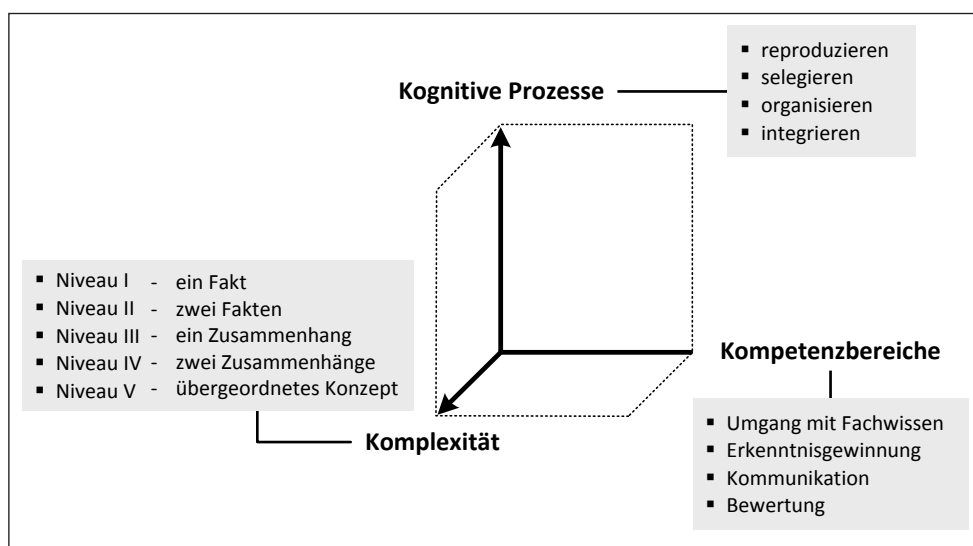


Abbildung 3: Dreidimensionales Kompetenzstrukturmodell der naturwissenschaftlichen Kompetenz im Projekt ESNaS

Die erforderlichen Fähigkeiten zur Lösung von Aufgaben werden hier in drei Dimensionen dargestellt. Die Dimension *Komplexität* beschreibt Abstufungen in Umfang und Vernetzungsgrad der zu berücksichtigenden Inhalte. Es werden die Ausprägungen *ein Fakt*, *zwei Fakten*, *ein Zusammenhang*, *zwei Zusammenhänge* und übergeordnetes Konzept unterschieden.

In der zweiten Dimension werden Niveaus *kognitiver Prozesse* angegeben, die auf kognitionspsychologische Modelle zurückgreifen. Der einfachste, das *Reproduzieren*, verlangt die Identifikation gegebener Informationen. *Selektieren* bedeutet, aus vorhandenen Informationen die jeweils relevanten zu finden und auszuwählen. *Organisieren* verlangt, Informationen anzuordnen und neu zu strukturieren. *Integrieren* als höchste Stufe bedeutet schließlich, neue Informationen mit der eigenen Wissensbasis verknüpfen und vernetzen zu können.

Die dritte Dimension wird durch die unterschiedlichen Kompetenzbereiche gebildet. Hier sind die dem Bereich zuzuordnenden Kompetenzerwartungen zu berücksichtigen, wie sie z. B. in unserer Übersicht der Kompetenzfacetten zum Experimentieren dargestellt sind. Unterschiede ergeben sich vor allem in der Art der Komplexitätsstufen. Beim Experimentieren würde man auf Stufe I und II einzelne Handlungsschritte, auf den Stufen III und IV Handlungszusammenhänge und auf Stufe V Handlungskonzepte betrachten.

Mit Hilfe des Modells lässt sich nun begründen, warum z. B. die Variante B der Aufgabe zur Photosynthese schwieriger ist als Variante A. Es müssen mehrere Zusammenhänge im Blick behalten werden, der Zusammenhang zwischen Sauerstoffproduktion und Lichtmenge bzw. Temperatur, außerdem der konzeptionelle Zusammenhang zwischen Fragestellungen und experimentellem Vorgehen. Kognitive Prozesse reichen bis zur Stufe des *Integrierens*, weil eine Verbindung zwischen Experiment und vorhandenem Wissen über Photosynthese hergestellt werden muss. Noch etwas schwieriger wird Aufgabenvariante C sein, da im Prinzip alle Anforderungen aus Aufgabe 2 weiterbestehen und zusätzlich noch der konzeptionelle Zusammenhang des Versuchsdesigns ausgewertet werden muss. In Variante A dagegen liegt der größte Teil der Anforderungen im Bereich *Reproduzieren*, weil hauptsächlich vorgegebene Informationen identifiziert und abgearbeitet werden müssen. Selbst bei der Auswertung gehen kognitive Anforderungen nicht über *Selektieren* bis *Organisieren* hinaus, weil nur nach Feststellungen zu den Messdaten gefragt wird. Die Schwierigkeit der Aufgabe würde größer, wenn in der Auswertung die Interpretation der Daten in Bezug auf die zugrunde liegende Fragestellung oder die Passung der Daten zu den beiden Hypothesen oder sogar die Passung des experimentellen Designs zur Problemlösung (s. Kompetenzfacetten) thematisiert würden, da hier mehr oder weniger große Anteile eines konzeptuellen Denkens erforderlich wären. Es wäre außerdem denkbar, die einzelnen Teilaufgaben in einer komplexeren Gesamtaufgabe zu kombinieren. Hier bieten sich Chancen zur Differenzierung, weil eben Anteile von unterschiedlicher Schwierigkeit auch unabhängig voneinander bearbeitet werden können.

### Zur Qualität experimenteller Aufgaben

Experimente bilden ein wesentliches Element des naturwissenschaftlichen Arbeitens in den Bezugswissenschaften. Bei aller Unterschiedlichkeit experimenteller Strategien sehen Höttecke und Rieß (2015) das gemeinsame Ziel darin, „die Materialität des Experiments, Handeln und theoretische Annahmen in Kongruenz zu bringen“. Experimente sind deshalb für den naturwissenschaftlichen Unterricht



unverzichtbar. Gelegentlich anzutreffende Vorstellungen, nach denen umso besser und umfangreicher gelernt wird, je mehr experimentiert wird, lassen sich jedoch nicht bestätigen. Schon in einer deutschen Begleitstudie zu PISA 2006 (Kobarg et al., 2008) zeigte sich, dass ein stark handlungsbetonter experimenteller Unterricht (nach dem Muster *Globale Aktivitäten*) in den Lernergebnissen einem Unterricht unterlegen ist, der stärker auf kognitive Aktivitäten wie Schlussfolgern, Generieren von Ideen und den Transfer von Konzepten fokussiert. Umgekehrt wirkt sich ein handlungsbetonter Unterricht positiv auf Interesse und Motivation aus, der Unterschied zum kognitiv fokussierenden Unterricht ist in diesen beiden Variablen allerdings gering. In der QuIP-Studie (Fischer et al., 2014) wurde Physikunterricht in Nordrhein-Westfalen, in Finnland und in der deutschsprachigen Schweiz verglichen. In NRW nahmen in den untersuchten Unterrichtsstunden zur Elektrizität praktische Aktivitäten im Mittel etwa zwei Drittel der Unterrichtszeit in Anspruch, in Finnland war der Anteil nicht einmal halb so groß. In Finnland war allerdings der Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler groß, in NRW verschwindend gering. Interessant ist der Ansatz der Studie, nicht nur den Einsatz, sondern auch die Qualität praktischer Aktivitäten zu untersuchen. Qualitätskriterien beziehen sich danach auf praktisches Arbeiten als

kognitive  
Aktivitäten

QuIP-Studie

- kontextorientierte Aktivität:  
Hier geht es um die inhaltliche Einbettung, Bezüge zum Alltagsleben und um Zielklarheit.
- reflexive Aktivität:  
Es werden zwei Aspekte unterschieden, einmal die Ergebnisreflexion und zum anderen die Reflexion von Arbeitsprozessen.
- theoriegeleitete Aktivität:  
Im Vordergrund steht hier die Orientierung an Ideen, die Konzepten, Modellen, Theorien und Analogien zugrunde liegen. Es geht außerdem um kognitive Anforderungen und eine angemessene sprachliche Repräsentation.

Gemessen an diesen Kriterien befand sich die Qualität des überwiegenden Teils der beobachteten praktischen Aktivitäten auf einem eher niedrigen Niveau, und zwar in allen drei beteiligten Ländern. Besonders gering ausgeprägt waren die Faktoren Kontextorientierung in ihren drei Perspektiven sowie die Orientierung an Ideen und die Reflexion von Arbeitsprozessen. Lernende dürften somit Schwierigkeiten bekommen, zu verstehen, was sie tun und warum sie es tun. Gründe für diese Befunde könnten in der vor allem in Deutschland stark dominierenden sogenannten *induktiven Methode* liegen. Sie basiert auf veralteten positivistischen Vorstellungen zum Wissenschaftsprozess, nach denen alle Erkenntnis aus der unmittelbaren Erfahrung resultiert (s. auch Trendel & Fischer, 2007). Dabei wird die Bedeutung vorheriger Erkenntnisse und des Vorwissens ebenso wie die Tatsache, dass Erfahrungen nicht zwangsläufig zu naturwissenschaftlichen Konzepten führen, häufig ausgeblendet. Nach der QuIP-Studie ergeben sich daraus zwei hauptsächlich genutzte Funktionen des Experimentierens: Schülerinnen und Schüler sollen Messungen durchführen und sie sollen lernen, Gesetze zu finden, beides kognitiv eher weniger herausfordernde Bereiche auf einer deskriptiven Ebene. Von unseren Beispielen lässt sich die erste Variante der Photosynthese-Aufgabe diesem Ansatz zuordnen. Erst einmal tun, dann nachdenken, ist wohl nur in ganz speziellen Fällen ein rational sinnvoller Ansatz. Zielführender dürfte es sein, Schülerinnen und Schüler zum bewussten und re-

flektierten Handeln anzuleiten und dafür Wissen und Tun unter Verwendung der notwendigen Begrifflichkeiten aufeinander zu beziehen. Das kann über eine angepasste Aufgabengestaltung geschehen, die einerseits den erreichten Stand der Kompetenzentwicklung berücksichtigt und andererseits immer wieder Gelegenheit zur Reflexion bietet.

### cognitive apprenticeship

Man findet gelegentlich rigorose Forderungen zum anzustrebenden Niveau experimenteller Lernaufgaben, nach denen solche Aufgaben möglichst komplex und offen sein sollten. Es ist sicherlich richtig, dass der Anteil solcher Lernaufgaben bisher gering ist und gesteigert werden sollte. Es spricht jedoch einiges dafür, die Anforderungen je nach Zielsetzung über das gesamte Schwierigkeitsspektrum zu variieren. Offenheit von Aufgabenstellungen ist kein Wert an sich, an manchen Stellen bleiben auch einfache Anleitungen sinnvoll. Solche Situationen lassen sich gut vergleichen mit Anforderungen eines Meisters an die Leistungen seiner Auszubildenden. In der Anfangsphase wird er bestimmte Handlungen sehr genau vormachen, das notwendige Wissen sowie die zugehörigen Regeln und Vorschriften erklären und die Umsetzung aufmerksam überwachen. Mit zunehmender Expertise wird er sich immer mehr zurückziehen und seine Auszubildenden zunehmend selbstständiger agieren lassen. Im anglo-amerikanischen Raum wird ein analoger didaktischer Ansatz, der zunächst verstärkte Führung und Strukturierung, dann eine allmähliche Rücknahme von Lehrereingriffen beinhaltet, als *cognitive apprenticeship* bezeichnet (vgl. z. B. Reich, 2012).

### Basismodelle des Lernens

Im Folgenden sollen einige Vorschläge zur Verbesserung der Passung zwischen Fähigkeiten der Lernenden und Anforderungen der Lernaufgaben diskutiert werden. Ausgangspunkt sind dabei Erkenntnisse der Lernpsychologie, nach denen unterschiedliche Ziele des Lernens teilweise sehr unterschiedliche Abfolgen von Lernschritten erfordern. Die Schweizer Pädagogen Fritz Oser und Franz Baeriswyl klassifizierten insgesamt zwölf sogenannte Basismodelle des Lernens und ordneten ihnen die notwendigen Lernschritte zu (Oser & Baeriswyl, 2001). Drei der Basismodelle, nämlich *Lernen durch Erfahrung*, *Konzeptbildung* und *Problemlösen* sind für den naturwissenschaftlichen Unterricht von besonderer Bedeutung. Empirische Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Qualität des Unterrichts durch zielgerechte Berücksichtigung dieser Basismodelle tatsächlich gesteigert werden kann, wenn die erforderlichen Lernschritte beachtet und vollständig durchlaufen werden. Das Experimentieren kann in allen drei Basismodellen eine Rolle spielen.

Tabelle 2: Drei für die Naturwissenschaften besonders wichtige Basismodelle des Lernens nach Oser

Schritt	Erfahrungslernen	Konzeptbilden	Problemlösen
1	Inneres Vorstellen, Planen	Bewusstmachen des Vorwissens	Generierung des Problems
2	Handeln im Kontext	Elaboration des Konzepts an einem Prototyp	Präzisierung der Ausgangslage und des Lösungsziels
3	Feststellen der Ergebnisse und ihrer Bedeutung	Analyse der wesentlichen Eigenschaften des Konzepts	Suche nach Lösungsmöglichkeiten
4	Generalisierung der Ergebnisse	Aktiver Umgang mit dem Konzept	Testen der Lösungsvorschläge
5	Reflexion von Situationen mit ähnlichen Erfahrungen	Anwendung des Konzepts in verschiedenen Kontexten	Evaluation der Lösungen

In den Naturwissenschaften fordert die Berücksichtigung dieser Zielsetzungen eine Abkehr von allzu eindimensionalen Strukturen der unterrichtlichen Abläufe. Es wird deutlich, dass für unterschiedliche Ziele des Lernens auch völlig unterschiedliche Vorgehensweisen erforderlich sind:

- *Beim Erfahrungslernen etwa sollte der einzuschlagende Weg zu neuen Erfahrungen schon zu Beginn klar sein, das Ergebnis der Erfahrung wird gesucht und ist offen.*
- *Beim Problemlösen stehen umgekehrt Ausgangslage und intendiertes Ergebnis fest, es wird jedoch der Weg dorthin gesucht.*
- *Beim Konzeptbilden steht die Erklärung als mentale Konstruktion fachlicher Konzepte, zu denen nach unserem Verständnis neben inhaltlichen auch methodische Konzepte gehören, im Vordergrund, experimentelles Handeln dient hier als Mittel zur Verdeutlichung.*

Die inhaltlichen Lernvoraussetzungen können beim *Erfahrungslernen* oft relativ gering sein. Dieses Lernmodell ist z. B. angebracht, wenn Schülerinnen und Schüler neue Phänomene erkunden und hypothetische Zusammenhänge herstellen bzw. diese überprüfen sollen oder wenn sie den Umgang mit bestimmten Geräten üben. Je nach Vertrautheitsgrad der angestrebten Handlungswege können Aufgaben hier eng oder sehr offen gestaltet werden.

**Erfahrungslernen**

Der Aufbau von Konzeptwissen (*Konzeptbilden*) baut auf Erfahrungen und u. a. darauf basierenden Vorstellungen der Lernenden auf. Naturwissenschaftliche Konzepte entstammen allerdings einer gewissen fachlichen Entwicklung, die Schülerinnen und Schüler nicht unbedingt eigenständig durchlaufen können. Bei der Elaboration ist in der Regel eine starke Strukturierung und Führung durch die Lehrperson angebracht. Es geht darum, die wesentlichen Eigenschaften eines Konzepts anhand eines Prototyps so klar und einfach wie möglich herauszuarbeiten, und hier sollten das Ziel der Aufgabe und der Schwerpunkt der kognitiven Belastung auch liegen. Eine unnötig hohe Komplexität bei instruktiven Schüler- oder Lehrerversuchen wäre dabei eher hinderlich. Oft ist ein vergleichsweise kleinschrittiges Vorgehen angebracht. In den Lernschritten 3 bis 5 können dann kognitive Anforderungen und Komplexität zunehmend gesteigert werden.

**Konzeptbilden**

Selbstständiges *Problemlösen* schließlich ist das Ziel der Kompetenzentwicklung. Es stellt die höchsten kognitiven Anforderungen und ist für Lernende sowohl lernwirksam als auch motivierend. Es erfordert meist offene Aufgabenstellungen, setzt jedoch voraus, dass zur Lösung notwendige inhaltliche und methodische Kompetenzen bereits hinreichend angelegt sind. Es wird Wissen benötigt, um die verfügbaren Informationen zu den Zielsetzungen und zur Ausgangslage analysieren und sich eventuell fehlende Informationen beschaffen zu können. Außerdem müssen Analogien zu bekannten Situationen hergestellt werden, um mögliche Lösungsschritte vorschlagen zu können. Analytisches Problemlösen ist also so etwas wie der anzustrebende Königsweg. Es funktioniert aber leider nicht ohne verfügbare Grundlagen an Erfahrungs- und Konzeptwissen, kann also andere Wege des Lernens nicht ohne Weiteres ersetzen. Die Schwierigkeit problemlösender Aufgaben lässt sich über die Komplexität der Problemstellungen regulieren.

**Problemlösen**

Basismodelle des Lernens können auch verschränkt werden. Es ist z. B. gut denkbar, dass eine komplette Sequenz vom Typ *Erfahrungslernen* als Schritt 2 oder Schritt 4 von *Konzeptbildung* eingesetzt wird. Eine Aufgabe zum *Problemlösen* könnte Schritt 5 von *Konzeptbildung* sein usw. Wichtig ist stets eine Passung zu den vorhandenen Kenntnissen der Lerngruppe. Eine ausführliche Einführung

in den Gebrauch der Basismodelle des Lernens für die lernprozessorientierte Unterrichtsgestaltung im Fach Physik findet sich in einer Publikation zum Ganz-In-Projekt (Krabbe, Zander & Fischer 2015). Das Dokument lässt sich kostenlos herunterladen.

### Zur Veränderung des Unterrichts

Es wäre wahrscheinlich eine unzumutbare Belastung für Lehrerinnen und Lehrer in den naturwissenschaftlichen Fächern, wenn man in kurzer Zeit umfangreiche Veränderungen einer bestehenden Unterrichtspraxis einfordern würde. Lehr-/Lernprozesse verlangen nach einer gewissen Sicherheit und Stringenz der unterrichtlichen Abläufe. Die beschriebenen Verfahren zur Konstruktion von Aufgaben eignen sich zum Ausprobieren und sind wegen ihrer Variabilität gut skalierbar. Sie erlauben bei geeigneten Gelegenheiten ein schrittweises Einarbeiten neuer Aufgabentypen in den eigenen Unterricht und machen diesen abwechslungsreicher. Es ist möglich, in einzelnen Experimentieraufgaben nach und nach den Fokus auf neue Aspekte zu richten, diese mit den Lernenden explizit zu besprechen und die Ergebnisse als Regeln festzuhalten, an die man zu späteren Zeitpunkten erinnern kann. So kann im Laufe der Zeit nutzbares Fachwissen mit einem sicheren Fundus prozeduralen Wissens und der dabei erforderlichen Terminologie verbunden werden.

Es bieten sich weitere Chancen, Wirkungen des eigenen Unterrichts bzw. die Reaktion der Lernenden auf traditionelle oder neue Aufgabentypen empirisch zu erforschen. Durch eine bewusste Fokussierung der Aufgaben erhält man als Lehrperson Informationen, an welchen Stellen sich Lernende schwer tun, was sie interessant finden und zu welchen Leistungen sie fähig sind. Lernprozesse können dann über eine Anpassung der Aufgabenschwerpunkte an die Voraussetzungen besser geplant und gesteuert werden. Es ist zu vermuten, dass Unterricht, der mehr Vielfalt und mehr Gelegenheiten zum Nachdenken und Verstehen bietet, nicht nur bessere Ergebnisse liefert, sondern von den meisten Schülerinnen und Schülern als sinnvoller und motivierender empfunden wird.

Ein dritter Gesichtspunkt ist eine Verbesserung der Unterrichtsökonomie. Forderungen nach Differenzierung, individueller Förderung und Berücksichtigung der Heterogenität von Lerngruppen sind wohl nur über einen stärkeren Anteil materialbasierter Aufgaben zu erfüllen. Bei diesen Bedingungen stoßen einzelne Lehrpersonen, die abends an ihren Schreibtischen sitzen und mehr oder weniger das Gleiche tun müssen, schnell an ihre Grenzen. Es ist eine Kultur der Zusammenarbeit erforderlich, in der Synergien genutzt werden und Verantwortung für Lernergebnisse geteilt wird. Durch Kooperation und Austausch kann eine vielfältige Sammlung von Aufgabenvarianten entstehen, die von allen verwendet und auf der Grundlage von Erfahrungen optimiert werden können. In der gemeinsamen Diskussion über Aufgaben verbinden sich Sachaspekte des Fachs mit Möglichkeiten des Lernens. Dies steigert die Unterrichtsqualität, reduziert die individuelle Arbeitslast der Lehrerinnen und Lehrer und fördert deren professionelle Entwicklung.

## 4. Beispiele: Entwickelte Aufgaben und ihre Klassifizierung

Die folgenden Aufgaben sollen als Beispiele für die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Prinzipien der Aufgabenkonstruktion dienen. Sie stellen in der Regel lediglich mehr oder weniger schmale Ausschnitte aus einer Unterrichtssequenz dar und bilden die Unterrichtsprozesse nicht vollständig ab. Auf eine explizite Angabe unterrichtlicher Voraussetzungen wird verzichtet, diese ergeben sich allerdings meist aus den Aufgabenkontexten. Es ist insbesondere nicht das Ziel der Beispiele, Maßnahmen zur Lern- und Leistungsdifferenzierung aufzuzeigen. Solche Maßnahmen könnten in dem jeweiligen unterrichtlichen Kontext gegebenenfalls durch bestimmte Lernhilfen wie Hinweiskarten, durch eine kleinschrittigere Strukturierung mit entsprechender Reduzierung der Komplexität oder auch durch alternative (je nach Adressaten leichtere oder schwerere) Lernzugänge und entsprechend anders konstruierte Aufgaben eingeführt werden.

Im Folgenden wird jeweils in einem Kastenfeld eine Aufgabe vorgestellt. Zum Teil werden zu diesen Aufgaben dann auch Möglichkeiten der Variation dargestellt, welche die Aufgaben leichter oder auch kognitiv anspruchsvoller machen. Unterhalb des Aufgabenkastens wird eine Klassifizierung nach den Kategorien *Aufgabentypus*, *Schwierigkeit* und *Einbettung in Lernprozesse* vorgenommen, die der Einschätzung des Aufgabencharakters dienen kann, nicht jedoch als absoluter Maßstab zu verstehen ist.

### Aufgabenkomplex 1: Abbildungen mit Linsen (*Erfahrungslernen*)

*Naturwissenschaften/Physik Gesamtschule Jahrgangsstufe 6 oder 8*

Diese Aufgabe richtet sich an Lernende, die noch nicht viel Experimentiererfahrung besitzen, ist aber in der gezeigten Form insgesamt herausfordernd. Ziel ist zunächst, ein physikalisches Phänomen zu erkunden und dabei Veränderungen sorgfältig zu beobachten und bewusst festzuhalten. In den weiteren Aufgabenteilen geht es darum, aus den Beobachtungen Schlüsse zu ziehen und Hypothesen bezüglich vorliegender Gesetzmäßigkeiten aufzustellen, die dann auch überprüft werden können.

In einer Kamera erzeugt die Linse ein verkleinertes Bild, in einem Projektor dagegen wirft die Linse ein riesengroßes Bild auf die Leinwand. Zwei gegensätzliche Effekte, aber beide Male ist eine Sammellinse daran beteiligt. Unter welchen Bedingungen verkleinert bzw. vergrößert eine Linse? Finde mehr darüber heraus.

Du brauchst eine Kerze, eine Sammellinse, einen Bogen weißen Karton als Bildschirm und eine Messlatte.

- Erzeuge mit Hilfe der Linse zuerst verschiedene verkleinerte scharfe Bilder (Kamerabilder), dann verschiedene vergrößerte scharfe Bilder (Projektorbilder). Notiere dir jedes Mal den Abstand der Linse von der Kerze und vom Karton. Notiere dir auch, was dir sonst noch auffällt.
- Finde eine Regel, mit der du vorhersagen kannst, ob du ein vergrößertes oder verkleinertes Bild bekommen wirst.
- Überprüfe, ob deine Regel zur Abbildung stimmt. Mache dazu Vorhersagen und teste aus, ob sie richtig waren. Überprüfe die Regel auch mit Sammellinsen unterschiedlicher Brennweite.
- Erkläre die Bildentstehung in der Kamera und beim Projektor mit der gefundenen Regel und unter Bezug auf deine Untersuchungen.

Abbildung 4: Aufgabe zur Untersuchung von Abbildungen mit Linsen

Je nach Lerngruppe ließe sich die Schwierigkeit der Teilaufgabe a. weiter reduzieren, indem man bestimmte zu messende Abstände vorgibt und auch die Aufnahme der Daten durch eine entsprechende Struktur (Tabelle, Lückentext) vorbereitet. Teilaufgabe b. könnte vereinfacht werden, indem man dazu auffordert, die Abstände der Kerze und des Kartons von der Linse bei verkleinerten Abbildungen bzw. vergrößerten Abbildungen zu vergleichen. Auch die Formulierung der Regel könnte etwa durch Vorgabe einer Satzstruktur erleichtert werden. (Etwa durch: *Wenn der Abstand zwischen Linse und Kerze \_\_\_\_\_ ist als zwischen Bildschirm und Kerze, erhält man ein \_\_\_\_\_ Bild.*) Man reduziert in diesen Fällen die Komplexität, weil nur einzelne Situationen zu vergleichen sind, und man senkt das kognitive Anspruchsniveau, weil eine eigenständige Organisation der gefundenen Ergebnisse nicht verlangt wird.

#### *Aufgabentypisierung:*

Tabelle 3: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
a.	x	?	-	x	x	-
b.	x	-	-	x	x	?
c.	x	-	?	?	?	?
d.	x	(x)	(x)	(x)	(x)	?

#### *Schwierigkeit:*

- Kognitive Prozesse: Reproduzieren; Komplexitätsstufe II (mehrere Fakten)
- Kognitive Prozesse: Organisieren; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: Integrieren; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: Integrieren; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)

#### *Einbettung in Lernprozesse:*

Überwiegend *Erfahrungslernen* (Erkunden von Phänomenen),  
Schritte 1, 2, 3 und 4

### **Aufgabenkomplex 2: Widerstände (Konzeptbildung)**

#### *Physik Gymnasien/Realschulen Jahrgangsstufe 8*

In der Jahrgangsstufe 8 dürften Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung wohl noch nicht vollständig entwickelt sein. Die unten gezeigte Aufgabenvariante 1 mit ihrer sehr offenen Aufgabenstellung wird bis auf wenige Ausnahmen für eine eigenständige Bearbeitung durch Schülerinnen und Schüler zu komplex sein. Eine Bearbeitung würde eine Beachtung vielfältiger Zusammenhänge und darüber hinaus ein konzeptionelles Verständnis eines Versuchsdesigns mit mehreren Variablen bedeuten. Trotzdem könnte eine solche Aufgabe den Rahmen eines Unterrichts bilden, in dem es um Konzeptbildung zum Experimentieren geht und der von der Lehrperson deswegen eng strukturiert wird. Es müsste z. B. schrittweise erklärt werden, wie man vorgehen kann und warum man das so tun sollte.

## Aufgabenvariante 1 (schwierig)

**Material:**

Netzgerät, Amperemeter, Voltmeter, Stativmaterial, Klammern, Büroklammern

Leiterdrähte: jeweils 3 Rollen mit Querschnitt 0,13 mm<sup>2</sup>; 0,3 mm<sup>2</sup>; 0,5 mm<sup>2</sup>

- Kupferdraht
- Eisendraht
- Konstantandraht

Untersuche, von welchen Größen der Widerstand eines Leiterdrahtes abhängt. Werte deine Ergebnisse aus und beschreibe die funktionalen Zusammenhänge in einer Formel.

Abbildung 5: Widerstände, Aufgabenvariante 1

Deutlich einfacher ist die Aufgabe in ihrer Variante 2, die eine eher kochrezeptartige Arbeitsanleitung enthält und wegen der Vielzahl vorgegebener Handlungsschritte kognitiv weniger herausfordernd ist.

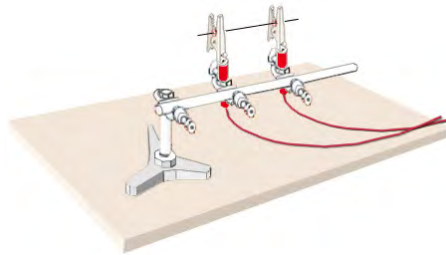
## Aufgabenvariante 2 (leicht)

**Material:**

Netzgerät, Widerstandsmessgerät, Stativmaterial, Klammern, Büroklammern

Leiterdrähte: jeweils 3 Rollen mit Querschnitt 0,13 mm<sup>2</sup>; 0,3 mm<sup>2</sup>; 0,5 mm<sup>2</sup>

- Kupferdraht:
- Eisendraht
- Konstantandraht



- a. Baue eine Halterung auf, wie sie in der Abbildung rechts dargestellt ist. Verwende bei Bedarf einen längeren waagerechten Stativstab.
- b. Stelle den Abstand der Klammern nacheinander auf 25 cm, 50 cm und 75 cm ein. Spanne die Widerstandsdrähte zwischen den Klammern. Bestimme für jedes Drahtstück den elektrischen Widerstand und trage ihn in die Messtabelle ein.
- c. Werte die Messungen aus. Was stellst du fest?

Material	Länge	Querschnitt	Widerstand	Länge	Querschnitt	Widerstand
Kupfer	75 cm	0,13 mm <sup>2</sup>		25 cm	0,13 mm <sup>2</sup>	
	75 cm	0,3 mm <sup>2</sup>		50 cm	0,13 mm <sup>2</sup>	
	75 cm	0,5 mm <sup>2</sup>		75 cm	0,13 mm <sup>2</sup>	
Eisen	75 cm	0,13 mm <sup>2</sup>		25 cm	0,13 mm <sup>2</sup>	
	75 cm	0,3 mm <sup>2</sup>		50 cm	0,13 mm <sup>2</sup>	
	75 cm	0,5 mm <sup>2</sup>		75 cm	0,13 mm <sup>2</sup>	
Konstantan	75 cm	0,13 mm <sup>2</sup>		25 cm	0,13 mm <sup>2</sup>	
	75 cm	0,3 mm <sup>2</sup>		50 cm	0,13 mm <sup>2</sup>	
	75 cm	0,5 mm <sup>2</sup>		75 cm	0,13 mm <sup>2</sup>	

Abbildung 6: Widerstände, Aufgabenvariante 2

Auch hier ließe sich die Schwierigkeit durch einfache Maßnahmen schrittweise modifizieren. Leichter würde die Aufgabe, wenn man die Anzahl zu berücksichtigender Variablen und damit die Komplexität reduzierte, z. B. nur den Widerstand gleichlanger und gleichdicker Kupfer- und Eisendrahte vergliche. Schwerer würde

die Aufgabe, wenn in der Tabelle oben keine Werte vorgegeben wären oder wenn die Tabelle sogar selbst entwickelt werden müsste.

Der Fokus und der kognitive Anspruch ließen sich verschieben, wenn man etwa nach der zugrunde liegenden Fragestellung oder den zu überprüfenden Hypothesen des Experiments fragt. Schwieriger würde es auch, wenn die Aufgabe gestellt würde, die Formel  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$  ( $\rho$ : Spezifischer Widerstand;  $l$ : Leiterlänge;  $A$ : Leiterquerschnitt) zu bestätigen.

In der folgenden Aufgabenvariante 3 liegt der Schwerpunkt auf dem Zusammenhang zwischen Hypothesen und einem angemessenen Untersuchungsdesign zu ihrer Überprüfung. Sie ist ein Beispiel für eine sinnvolle Aufgabe zum Experimentieren, bei der nicht notwendigerweise praktisch experimentiert werden muss. Sie würde sich als Übungsaufgabe, für eine Klassenarbeit oder für eine kurze formative Überprüfung bestehender Kompetenzen eignen.

**Aufgabenvariante 3 (mittelschwer)**

Michael möchte mit einem Versuch untersuchen, wovon der elektrische Widerstand eines Drahtes abhängt. Seine Vermutungen lauten:

- A) Je länger ein Draht ( $l$ ) ist, desto größer ist der Widerstand.
- B) Je größer die Querschnittsfläche ( $A$ ) des Drahtes ist, desto kleiner ist der Widerstand.
- C) Der Widerstand ist abhängig vom Material des Drahtes.

Michael misst folgende Widerstände an drei verschiedenen Drahtstücken:

	Draht 1	Draht 2	Draht 3
Länge ( $l$ )	2 m	3 m	1 m
Querschnittsfläche ( $A$ )	0,5 mm <sup>2</sup>	0,13 mm <sup>2</sup>	0,3 mm <sup>2</sup>
Material	Eisen	Kupfer	Konstantan
Widerstand ( $R$ )	2,5 $\Omega$	2 $\Omega$	7 $\Omega$

*Michael kann mit den Messungen der Widerstände seine Vermutungen weder bestätigen noch widerlegen.*

- a. *Gib an, welches Drahtstück den größten Widerstand besitzt.*
- b. *Nenne anhand der Tabelle für jede der Vermutungen A) und B) ein Beispiel, das nicht zu der Vermutung passt.*
- c. *Gib an, welche Prinzipien des Experimentierens Michael nicht beachtet hat.*
- d. *Beschreibe, wie Michael eine Versuchsreihe durchführen muss, damit er seine Vermutungen eindeutig überprüfen kann.*

Abbildung 7: Widerstände, Aufgabenvariante 3



*Aufgabentypisierung:*

Tabelle 4: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
Variante 1	x	-	?	?	?	?
Variante 2						
a.	-	-	-	x	x	-
b.	-	-	-	x	x	?
Variante 3						
a.	x	-	x	x	x	?
b.	x	-	x	x	x	?
c.	x	-	x	?	x	-
d.	x	-	x	?	?	?

*Schwierigkeit:*

Variante 1:

Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)

Variante 2:

a. Kognitive Prozesse: *Selektieren*; Komplexitätsstufe II (mehrere Fakten)b. Kognitive Prozesse: *Selektieren*; Komplexitätsstufe III (ein Zusammenhang)

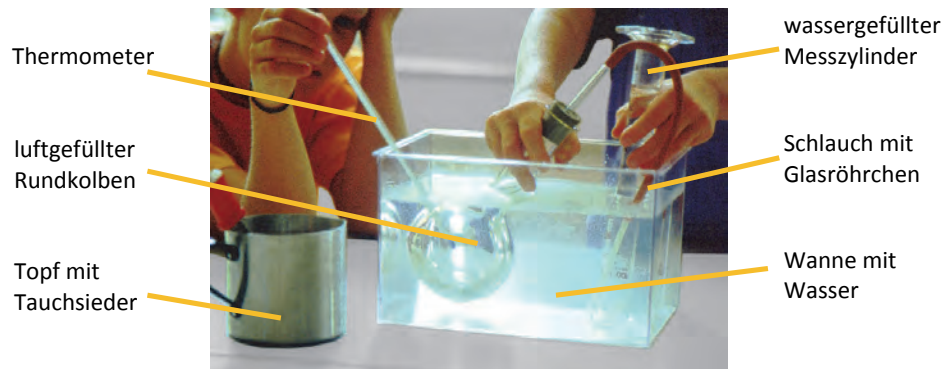
Variante 3:

a. Kognitive Prozesse: *Selektieren*; Komplexitätsstufe I (*ein Fakt*)b. Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)c. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)d. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (*konzeptioneller Zusammenhang*)*Einbettung in Lernprozesse:*Überwiegend *Konzeptbildung* (Konzept der Variablenkontrolle), Schritte 4 und 5**Aufgabenkomplex 3: Wärmeausdehnung von Luft (*Problemlösen*)***Wahlpflichtbereich Naturwissenschaften Gesamtschule ca. Jahrgangsstufe 9–10*

Diese experimentelle Aufgabe stammt aus einer Sammlung leichterer und schwererer Aufgaben zum Kontextthema Heißluftballon, bei dem die Funktionsweise eines solchen Ballons untersucht wird und zur Berechnung des Auftriebs die Temperaturabhängigkeit der Luftdichte bestimmt werden soll. Anstatt einfach mit einer Versuchsanleitung loszulegen, sollen die Schülerinnen und Schüler sich zunächst intensiv mit der Idee des Experiments auseinandersetzen. Dafür müssen sie natürlich die verwendeten Geräte aus anderen Zusammenhängen kennen. Sie benötigen aber auch erworbenes Metawissen zum Experimentieren, das sie hier anwenden müssen. Die Aufgabe wird dadurch recht anspruchsvoll und eignet sich als differenzierendes Angebot für leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler.

Kathrin und Paul wollen messen, wie sich die Dichte von Luft bei Erwärmung verändert. Sie haben sich den folgenden Versuchsaufbau ausgedacht:

Ein luftgefüllter Rundkolben befindet sich in einer Wanne mit Wasser. Der Rundkolben ist durch einen Stopfen verschlossen, aber über einen Schlauch und Glasröhrchen kann Luft aus dem Kolben zu einem wassergefüllten Messzylinder geleitet werden. Die Temperatur des Wasserbades kann mit einem Thermometer kontrolliert werden. Ein Alutopf dient dazu, weiteres Wasser zum Einfüllen in die Wanne zu erhitzen.



- Beschreibe die Grundidee, nach der mit diesem Versuchsaufbau die Dichteänderung von Luft gemessen werden kann. Gib an, welche Funktion die genannten Geräte dabei besitzen.
- Gib an, welche Variablen mit dem Versuchsaufbau gemessen werden müssen. Hinweis: Die Dichte der Luft kann bei jeder Temperatur nach der Formel  $\rho = m/V$  bestimmt werden.
- Beschreibe die Durchführung und die Auswertung des Experiments.
- Erläutere, welche der Variablen als unabhängige, als abhängige und als konstant zu haltende Variable behandelt werden.

Abbildung 8: Aufgabe zur Messung der Dichte erwärmter Luft

### Aufgabentypisierung:

Tabelle 5: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
a.	x	x	-	?	?	-
b.	x	x	-	?	?	-
c.	x	x	-	x	?	?
d.	x	x	-	?	?	?

### Schwierigkeit:

- Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)

*Einbettung in Lernprozesse:*

Überwiegend Problemlösen (Messung eines komplexen Zusammenhangs), Schritte 3, 4 und 5

#### **Aufgabenkomplex 4: Verteilung von Tastsinneszellen (Erfahrungslernen)**

*Wahlpflichtbereich Biologie Realschule Jahrgangsstufe 5–7*

Diese Aufgabe richtet sich an Lernende, die noch nicht viel Erfahrung mit naturwissenschaftlichen Experimenten haben. Ziel ist zunächst, ein biologisches Phänomen zu erkunden und Beobachtungen sorgfältig zu protokollieren. In den weiteren Aufgabenteilen geht es darum, aus den Beobachtungen Schlüsse zu ziehen und eine Regel abzuleiten, auf deren Grundlage Vorhersagen bzgl. neuer Fragestellungen getroffen und überprüft werden können. Je nach Lerngruppe lässt sich der Fokus der Aufgabe ausweiten, indem man die aus dem Klassenvergleich gewonnenen Daten (z.B. tabellarisch) organisiert und in einem geeigneten Diagramm visualisieren lässt.

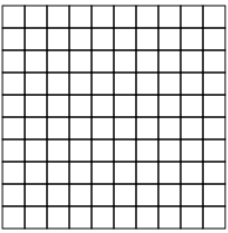
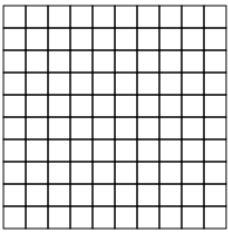
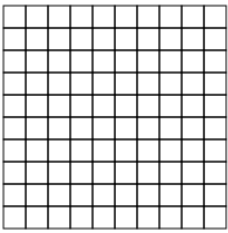
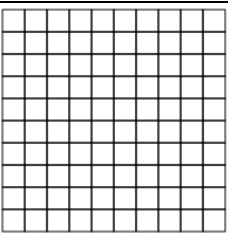
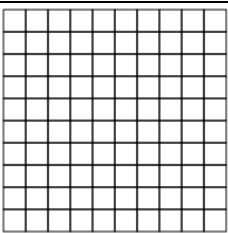
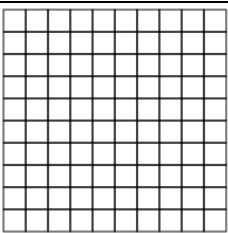
##### **Aufgabe: Verteilung von Tastsinneszellen**

Überall in der Haut liegen kleinste Tastsinneszellen, die auf Berührung reagieren. Ihnen ist es zu verdanken, dass wir etwas fühlen bzw. spüren können.

Fühlen Menschen an allen Körperstellen gleich gut oder gibt es Unterschiede zwischen den Körperstellen? Finde mehr darüber heraus. Arbeitet in 3er-Gruppen

**Durchführung:** Ein kleines 1 cm<sup>2</sup> großes Gitternetz aus 10 x 10 je 1 mm<sup>2</sup> großen Kästchen wird mithilfe eines Stempels auf die Haut 6 ausgewählter Körperregionen (siehe Protokollbogen) einer Testperson gestempelt. Der Testperson werden die Augen verbunden. Anschließend wird mithilfe einer Tastborste jedes einzelne der 100 kleinen Testfelder langsam nacheinander berührt. Dabei wird bei den markierten Feldern aller Körperregionen gleich vorgegangen. Die Person, die die Tastborste führt, geht von links nach rechts vor. Sie beginnt immer links oben mit dem ersten Feld und endet stets rechts unten mit dem letzten der 100 Felder. Wenn die Testperson eine Berührung spürt, signalisiert sie dies mit einem deutlichen „Ja“. Eine dritte Person dokumentiert jede wahrgenommene Berührung der Testperson auf dem folgenden Protokollbogen mit einem Kreuz.

**Protokollbogen:**

		
<b>Protokoll: Stirn</b>	<b>Protokoll: Zehenbeere</b>	<b>Protokoll: Oberarm</b>
		
<b>Protokoll: Unterarm</b>	<b>Protokoll: Handrücken</b>	<b>Protokoll: Fingerbeere</b>

**Aufgabenstellung:**

1. Führt den Versuch gemäß der Arbeitsanleitung durch.
2. Wertet euren Protokollbogen aus, indem ihr für die Körperstellen die Anzahl von Tastsinneszellen pro  $\text{cm}^2$  bestimmt.
3. Vergleicht eure Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Gruppen.
4. Findet eine Regel, mit der ihr vorhersagen könnt, an welchen Körperstellen die Anzahl von Tastsinneszellen pro  $\text{cm}^2$  besonders groß ist.
5. Macht auf der Grundlage eurer Regel eine Vorhersage dazu, wie hoch die Anzahl von Tastsinneszellen pro  $\text{cm}^2$  ungefähr auf der Lippe ist.
6. Testet eure Vorhersage und überprüft auf der Grundlage dieser Ergebnisse, ob eure Regel tragfähig ist oder ggf. verändert werden muss.

Abbildung 9: Aufgabe Tastsinneszellen

*Aufgabentypisierung:*

Tabelle 6: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
1.	x	?	-	x	x	-
2.	x	(x)	-	(x)	(x)	?
3.	x	(x)	-	(x)	(x)	?
4.	x	(x)	-	(x)	(x)	?
5.	x	-	?	(x)	(x)	-
6.	x	?	?	(x)	(x)	?

*Schwierigkeit:*

1. Kognitive Prozesse: *Reproduzieren*; Komplexitätsstufe II (mehrere Fakten)
2. Kognitive Prozesse: *Reproduzieren*; Komplexitätsstufe II (mehrere Fakten)
3. Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
4. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)
5. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
6. Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)

*Einbettung in Lernprozesse:*

Überwiegend *Erfahrungslernen* (Erkunden von Phänomenen),  
Schritte 1, 2, 3 und 4

## **Aufgabenkomplex 5: Historische Versuche zur Impfung (Konzeptbildung)**

*Wahlpflichtbereich Biologie Realschule Jahrgangsstufe 8–10*

Die im Folgenden dargestellten experimentellen Aufgaben stammen aus einer Sammlung leichter und schwerer Aufgaben zum Kontextthema: Kampf gegen Infektionskrankheiten, bei dem das fachinhaltliche Konzept der Impfung (Immunisierung durch Injektion abgeschwächter Erreger) im Vordergrund steht. Die Schülerinnen und Schüler werden durch die Aufgabenstellung aufgefordert, anhand der bereitgestellten Informationen über das Experiment die Variablen zu identifizieren und zu klassifizieren. In Variante 1 liegt der fachmethodische Fokus auf dem Prinzip der experimentellen Variablenkontrolle mit seinen Teilkonzepten (abhängige Variable, unabhängige Variable, Kontrollvariable). Hier könnten zur Unterstützung zusätzlich Hilfekärtchen mit Erläuterungen und einer Beispielaufgabe zum Prinzip der Variablenkontrolle im Sinne eines aufgabenbegleitenden Scaffoldings angeboten werden. In Variante 2 liegt der fachmethodische Schwerpunkt auf den Konzepten der naturwissenschaftlichen Fragestellung und der naturwissenschaftlichen Hypothese.

Anstelle der Deutung der Ergebnisse sollen die Schülerinnen und Schüler in beiden Varianten auf der Grundlage der Versuchsdurchführung und der Ergebnisse Rückschlüsse auf die Grundlagen, sprich: die zugrunde liegende naturwissenschaftliche Fragestellung und Hypothese des Experiments ziehen. Im Gegensatz zum klassischen, „vorwärts“ gerichteten Verständnis des Prozesses der hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnung wird hier also ein „rückwärts“ gerichteter Denkprozess durch die Aufgabenstellung angesteuert. Dafür müssen die Schülerinnen und Schüler sowohl eine konzeptionelle Vorstellung davon haben, was man unter Impfen versteht, als auch über ein erworbenes Metawissen zum Prinzip der Variablenkontrolle (abhängige Variable, unabhängige Variable sowie Kontrollvariablen) verfügen.

Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 1

**Aufgabenstellung:**

Schau dir sorgfältig die unten dargestellte Versuchsdurchführung an und ordne die dort verwendeten Variablen den unten dargestellten Variablen eines naturwissenschaftlichen Experiments zu. Wenn ein Kontrollansatz vorhanden ist, benenne auch diesen. Begründe deine Entscheidungen!

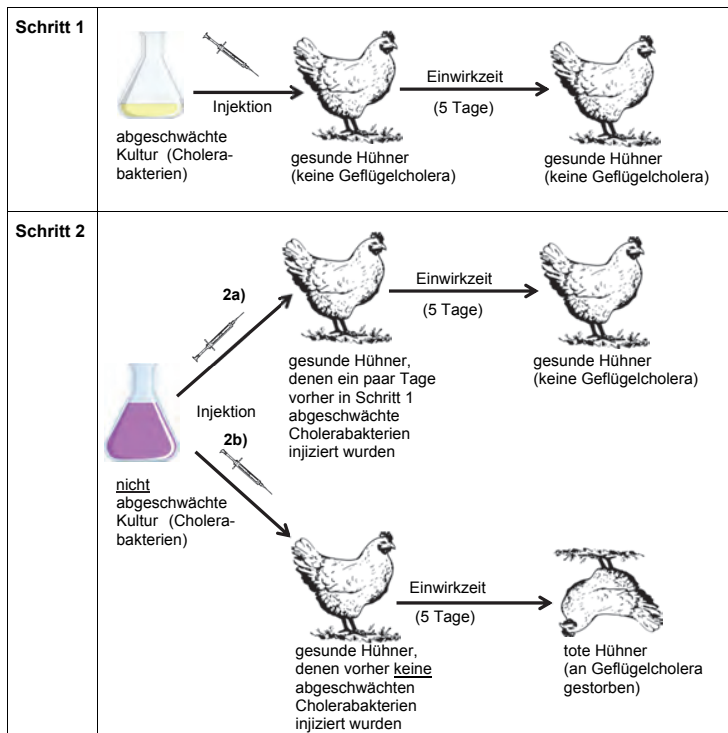
**Phänomen:** Der französische Chemiker und Mikrobiologe Louis Pasteur hatte gehört, dass Menschen eines englischen Dorfes, die sich zuvor mit den relativ harmlosen Kuhpocken infiziert hatten, nicht mehr an einer Infektion mit den zumeist tödlichen Menschenpocken starben und deutlich schwächere Krankheitsverläufe hatten. Pasteur suchte nach einem Weg, dieses Prinzip auf andere Infektionskrankheiten bei Tieren und Menschen zu übertragen.

**Vorwissen:** Zufällig stieß Pasteur auf die Beobachtung, dass es möglich ist, die Erreger der Geflügelcholera durch unwirtliche Bedingungen so stark zu schwächen, dass sie nur noch schwach bis gar nicht mehr infektiös sind.

**Fragestellung:** Werden Hühner, die mit abgeschwächten Cholera-bakterien geimpft wurden, immun gegen die Geflügelcholera?

**Hypothese:** Hühner, die mit abgeschwächten Cholera-bakterien geimpft wurden, erkranken nicht an Geflügelcholera.

**Durchführung:**



Experimentelle Variablen	Meine Zuordnung und Begründung
Abhängige Variable	
Unabhängige Variable	
Kontrollvariable	
Kontrollansatz	

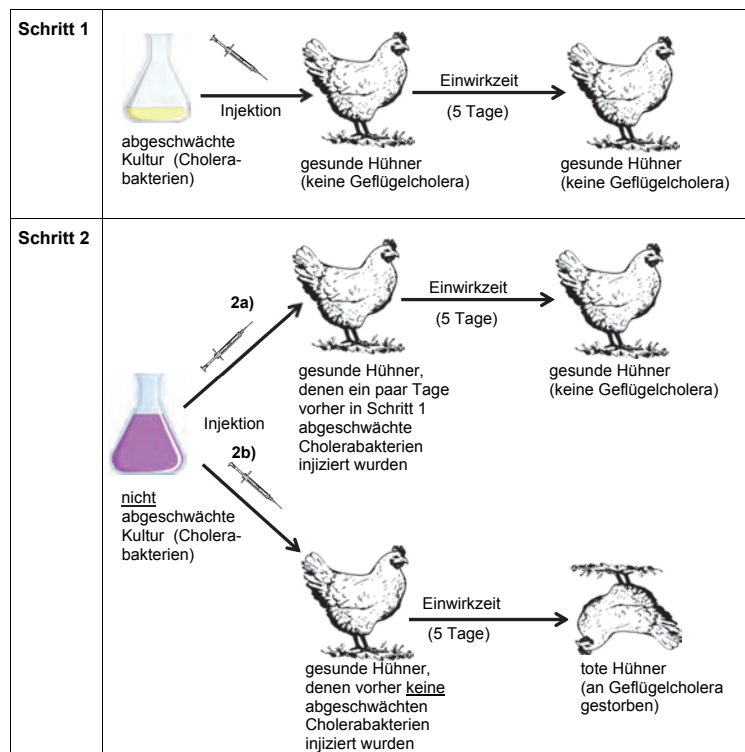
Abbildung 10: Aufgabe Impfung, Variante 1

## Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 2

**Aufgabenstellung:**

Kreuze die zum dargestellten Experiment passende naturwissenschaftliche Fragestellung und Hypothese an. Begründe deine Entscheidung (auf der Grundlage der im Experiment manipulierten, gemessenen und kontrollierten Variablen).

Die Geflügelcholera ist eine Infektionskrankheit der Vögel, die sich seuchenartig ausbreiten kann. Die Erreger sind Cholera Bakterien, die vorwiegend durch Körperausscheidungen übertragen werden. Louis Pasteur führte 1880 den folgenden Versuch durch.

**Durchführung:****a) Fragestellung**

- Hängt die Gefährlichkeit von Cholera-bakterien von der Einwirkzeit ab?
- Kann man Hühner sowohl mit abgeschwächten als auch mit ungeschwächten Cholera-bakterien impfen?
- Sind Hühner, die bereits eine Infektion mit abgeschwächten Erregern der Geflügelcholera überstanden haben, immun gegen die Geflügelcholera?
- Ist die Geflügelcholera nur für geschwächte oder auch für gesunde Hühner tödlich?

**Begründung:**


---



---

**b) Hypothese:**

- Auch abgeschwächte Cholera-bakterien führen zum Ausbruch der Geflügelcholera bei Hühnern.
- Hühner, die mit abgeschwächten Cholera-bakterien geimpft wurden, erkrankten nicht an Geflügelcholera.
- Hühner, die an Geflügelcholera erkrankt sind, werden durch eine Injektion geheilt.
- Ungeschwächte Cholera-bakterien sind gefährlicher als geschwächte.

**Begründung:**


---



---

Abbildung 11: Aufgabe Impfung, Variante 2

*Aufgabentypisierung:*

Tabelle 7: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
1.	x	x	x	?	x	-
2.	?	x	?	?	x	-

*Schwierigkeit:*

1. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
2. Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)

*Einbettung in Lernprozesse:*

Überwiegend Konzeptbildung, Schritte 4 und 5 (Konzepte: naturwissenschaftliche Fragestellung und Hypothese sowie Konzept der Variablenkontrolle)

**Aufgabenkomplex 6: Historische Versuche zur Impfung (*Problemlösen*)***Wahlpflichtbereich Biologie Realschule Jahrgangsstufe 8–10*

Die im Folgenden dargestellten experimentellen Aufgaben sind weitere Varianten des in Aufgabenkomplex 4 dargestellten Materials zum Kontextthema: Kampf gegen Infektionskrankheiten, bei dem das fachinhaltliche Konzept der Impfung (Immunisierung durch Injektion abgeschwächter Erreger) im Vordergrund steht. Während in Aufgabenkomplex 4 das Basismodell des Konzeptbildens im Vordergrund steht, geht es hier im Fokus um das Basismodell Problemlösen.

Allen Aufgaben zum Problemlösen ist gemein, dass der Anfangs- und der Endzustand (Ziel) bekannt ist, aber Uneinigkeit darüber besteht, wie man am besten dorthin gelangt. Die Aufgabenstellung und das Aufgabenmaterial geben den Anfangszustand und den Endzustand (einen Versuchsplan, der die Hypothese experimentell untersucht) vor.

Anstatt einfach mithilfe einer vorgegebenen Versuchsanleitung im Sinne eines „Kochrezeptes“ ein Experiment nachzubauen, durchzuführen und auszuwerten, sollen die Schülerinnen und Schüler sich hier intensiv mit der Idee des Experiments und dem Versuchsplan auseinandersetzen. Um dieses Problem lösen zu können, müssen die Schülerinnen und Schüler über das fachliche Konzept „Impfen“ verfügen und ein erworbenes Metawissen zum Prinzip der Variablenkontrolle (abhängige Variable, unabhängige Variable sowie Kontrollvariablen) sowie ggf. zum Konzept Zuverlässigkeit von Daten (durch Erhöhung der Stichprobengröße) anwenden können.

In Variante 3a sind drei Versuchspläne vorgegeben, von denen einer begründet ausgewählt werden muss. Variante 3b ist offener und dadurch recht anspruchsvoll und eignet sich als differenzierendes Angebot für leistungstärkere Schülerinnen und Schüler.



Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 3a

**Aufgabenstellung:**

Schaue dir sorgfältig die unten dargestellten drei Versuchspläne an und entscheide dich für den Versuchsplan, der deiner Meinung nach die vorgegebene Hypothese am sinnvollsten und zuverlässigsten überprüft. Begründe deine Antwort, indem du schreibst weshalb die anderen drei Versuchspläne nicht geeignet sind.

**Fragestellung:** Werden Hühner, die mit abgeschwächten Cholera Bakterien geimpft wurden, immun gegen die Geflügelcholera?

**Hypothese:** Hühner, die mit abgeschwächten Cholera Bakterien geimpft wurden, erkranken nicht an Geflügelcholera.

**Auswahl möglicher Versuchspläne:**

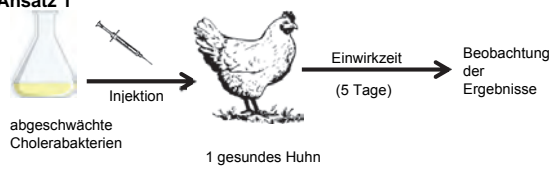
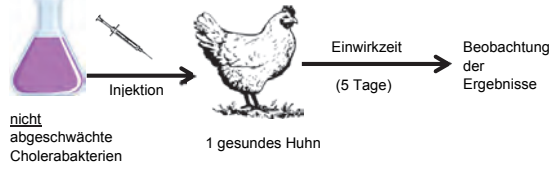
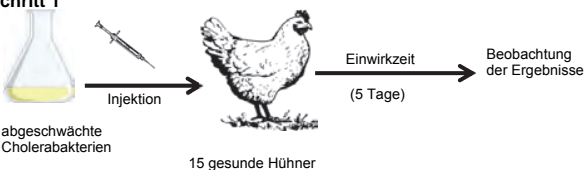
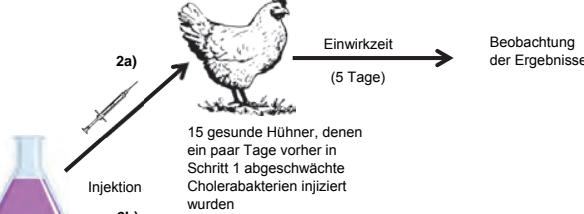
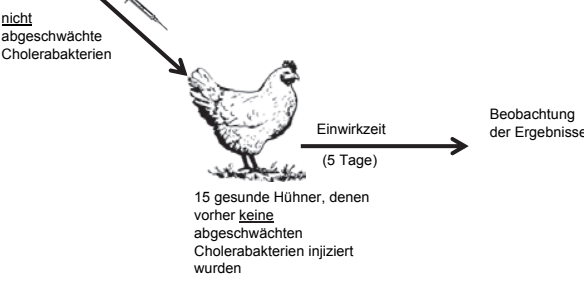
Versuchsplan 1	Meine Notizen
<p><b>Ansatz 1</b></p>  <p>abgeschwächte Cholera Bakterien</p> <p>1 gesundes Huhn</p> <p><b>Ansatz 2</b></p>  <p>nicht abgeschwächte Cholera Bakterien</p> <p>1 gesundes Huhn</p>	
<p><b>Versuchsplan 2</b></p> <p><b>Schritt 1</b></p>  <p>abgeschwächte Cholera Bakterien</p> <p>15 gesunde Hühner</p> <p><b>Schritt 2</b></p> <p>2a)</p>  <p>15 gesunde Hühner, denen ein paar Tage vorher in Schritt 1 abgeschwächte Cholera Bakterien injiziert wurden</p> <p>2b)</p>  <p>nicht abgeschwächte Cholera Bakterien</p> <p>15 gesunde Hühner, denen vorher <u>keine</u> abgeschwächten Cholera Bakterien injiziert wurden</p>	

Abbildung 12: Aufgabe Impfung, Variante 3a

Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 3a (Fortsetzung)

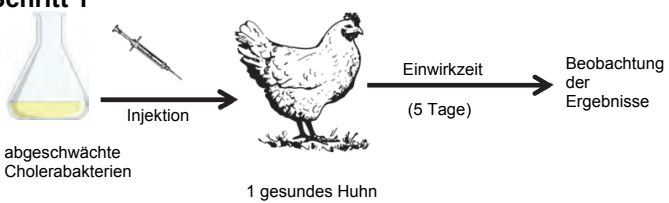
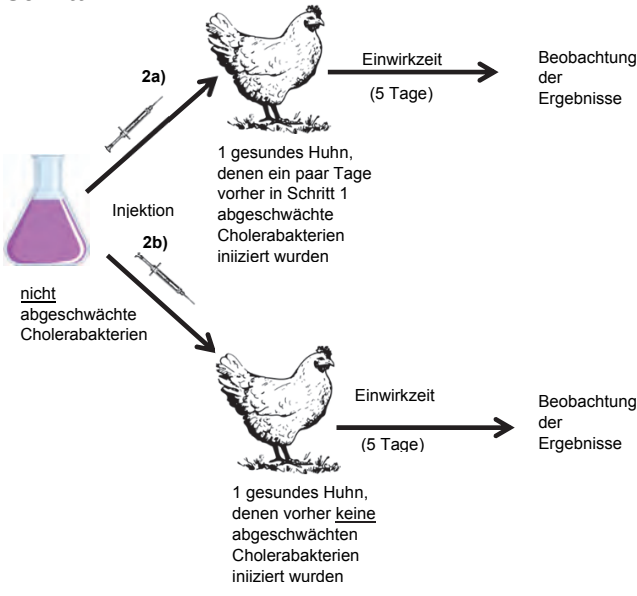
Versuchsplan 3	Meine Notizen
<p><b>Schritt 1</b></p>  <p>abgeschwächte Cholera<b>ba</b>akterien</p> <p>1 gesundes Huhn</p> <p><b>Schritt 2</b></p>  <p>2a)</p> <p>Injektion</p> <p>2b)</p> <p>nicht abgeschwächte Cholera<b>ba</b>akterien</p> <p>1 gesundes Huhn, denen ein paar Tage vorher in Schritt 1 abgeschwächte Cholera<b>ba</b>akterien iniiert wurden</p> <p>1 gesundes Huhn, denen vorher <u>keine</u> abgeschwächten Cholera<b>ba</b>akterien iniiert wurden</p>	
<p><b>Meine Entscheidung und Begründung:</b></p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	

Abbildung 13: Aufgabe Impfung, Variante 3a (Fortsetzung)

*Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 3b***Aufgabenstellung:**

Skizziere auf der Grundlage der Textinformationen und der gegebenen Materialien einen Versuchsplan, mit dem du die dargestellte Hypothese experimentell überprüfen kannst. Wenn nötig, versee den Versuchsplan mit kurzen erläuternden Kommentaren.

**Phänomen:** Der französische Chemiker und Mikrobiologe Louis Pasteur hatte gehört, dass Menschen eines englischen Dorfes, die sich zuvor mit den relativ harmlosen Kuhpocken infiziert hatten, nicht mehr an einer Infektion mit den zumeist tödlichen Menschenpocken starben und deutlich schwächere Krankheitsverläufe hatten. Pasteur suchte nach einem Weg, dieses Prinzip auf andere Infektionskrankheiten bei Tieren und Menschen zu übertragen. Doch wusste er zunächst nicht wie.

**Vorwissen:** Zufällig stieß Pasteur auf die Beobachtung, dass es möglich ist, die Erreger der Geflügelcholera durch unwirtliche Bedingungen so stark zu schwächen, dass sie nur noch schwach bis gar nicht mehr infektiös sind.

**Fragestellung:** Werden Hühner, die bereits eine Infektion mit den Erregern der Geflügelcholera überstanden haben, immun gegen die Geflügelcholera?

**Hypothese:** Hühner, die mit abgeschwächten Cholerabakterien geimpft wurden, erkranken nicht an Geflügelcholera.

**Zur Verfügung stehendes Material:**

			
30 gesunde Hühner	Kultur mit ungeschwächten Cholerabakterien	Kultur mit geschwächten Cholerabakterien	Spritzen in unbegrenzter Menge

**Skizze des Versuchsplans/der Durchführung:**

Abbildung 14: Aufgabe Impfung, Variante 3b

*Aufgabentypisierung:*

Tabelle 8: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
a.	x	x	x	?	?	-
b.	x	x	x	?	?	?

*Schwierigkeit:*

- Kognitive Prozesse: *Selektieren bis Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)

*Einbettung in Lernprozesse:*

Überwiegend Problemlösen, Schritte 3 und 4

## 5. Gesichtspunkte der Evaluation

Auf der Grundlage der vorgestellten Verfahren wurden bereits zielgerichtet einige Aufgaben entwickelt, die das Spektrum der Möglichkeiten experimenteller Aufgaben erweitern und nach den bisherigen Erfahrungen neue kognitive Prozesse bei den Lernenden anstoßen können. Eine umfassendere praktische Erprobung und Evaluation der entwickelten Konzepte und der Wirkung der damit konstruierten Aufgaben steht jedoch noch aus. Dies soll in der Phase des SINUS-Projekts, die mit Beginn des Schuljahrs 2017/2018 startet, geschehen. Von besonderem Interesse sind für uns die folgenden Fragestellungen:

- *Erleichtert das vorgestellte System Lehrpersonen die Konstruktion differenzierter Aufgaben im Bereich des Experimentierens?*
- *Ist es möglich, mit gezielt entwickelten Aufgaben die kognitive Aktivierung der Schülerinnen und Schüler beim naturwissenschaftlichen Lernen zu steigern?*
- *Welche Wirkungen haben die entwickelten Aufgaben auf das Interesse und die Motivation der Lernenden?*
- *Welche Wirkungen haben die entwickelten Aufgaben bezüglich der Kompetenzentwicklung in den Naturwissenschaften?*

## Literatur

- Bömer, B., Fahrenhorst, H., Nötzold, I., Rist, U., Roer, W. & Trendel, G. (2002). *NAWIgator 3/4*. Stuttgart, Düsseldorf, Leipzig: Ernst Klett.
- Fischer, H. E., Labudde, P., Neumann, K. & Viiri, J. (Hrsg.) (2014). *Quality of Instruction in Physics – Comparing Finland, Germany and Switzerland*. Münster: Waxmann.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 21 (1), 127–139.
- IQB (2013). *Kompetenzstufenmodelle Naturwissenschaften*. Verfügbar unter <https://www.iqb.hu-berlin.de/bista/ksm> [06.07.2017].

- Kauertz, A., Fischer, H. E., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 16 (16), 135–153.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2015). *Physikdidaktik – Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- KMK = Kultusministerkonferenz (2005). *Vereinbarung über Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10) in den Fächern Biologie, Chemie, Physik (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004)*. München, Neuwied: Luchterhand – Wolters Kluwer.
- Kobarg, M., Altmann, U., Wittwer, J., Seidel, T. & Prenzel, M. (2008). Naturwissenschaftlicher Unterricht im Ländervergleich. In PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.) *PISA 2006 in Deutschland – die Kompetenzen der Jugendlichen im dritten Ländervergleich* (S. 265–296). Münster: Waxmann.
- Krabbe, H., Zander, S. & Fischer, H. E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht – Materialien zur Lehrerfortbildung*. (W. Bos & H. Wendt, Hrsg.). Münster, New York: Waxmann. Verfügbar unter <http://www.ganzin.de/wp-content/uploads/2015/10/Lernprozessorientierte-Gestaltung-von-Physikunterricht.pdf> [02.05.2018].
- Lunetta, V. N. (1997). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In K. Tobin & B. Fraser (Hrsg.), *International handbook of science education* (S. 249–264) Dordrecht, Niederlande: Kluwer.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013). *Kernlehrplan Naturwissenschaften für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: Ritterbach.
- Oser, F. & Baeriswyl, F. J. (2001). Choreographies of Teaching: Bridging Instruction to Learning. In V. Richardson (Hrsg.), *Handbook of Research on Teaching* (Handbook o, S. 1031–1065). Washington DC: American Educational Research Association.
- Popper, K. R. (1989). *Logik der Forschung*. Tübingen (Bd. 3). doi: 10.2307/2016612.
- Reich, K. (2012). Methodenpool. Verfügbar unter [http://methodenpool.uni-koeln.de/apprenticeship/frameset\\_apprenticeship.html](http://methodenpool.uni-koeln.de/apprenticeship/frameset_apprenticeship.html) [08.08.2017].
- Settler, H. (1967). Vom Sinn und Widersinn des Physikunterrichtes. *MNU*, 4, 157–162.
- Trendel, G. & Fischer, H. E. (2007). Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen. *MNU*, 60 (7), 388–394.



Monika Dirks und Sandra Engelen

## **Sprachsensibler Biologieunterricht am Gymnasium**

### **Hinweise zum systematischen Kompetenzaufbau im Bereich Kommunikation**

In der vorigen SINUS-Handreichung („Impulse für einen kompetenzorientierten naturwissenschaftlichen Unterricht“) haben die Autorinnen anhand eines Prozessmodells dargelegt, wie Unterrichtsreihen und -materialien zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung für den Anfangsunterricht im Fach Biologie am Gymnasium mithilfe eines Planungs- und Entwicklungsrasters systematisch entwickelt, erprobt und reflektiert werden können. Im hier folgenden Beitrag wird nun am Beispiel des Kompetenzbereiches Kommunikation gezeigt, wie im Anfangsunterricht am Gymnasium ein Beitrag zur systematischen Förderung der deutschen Sprache im Sinne eines sprachsensiblen Fachunterrichts geleistet werden kann.

Die Arbeitsgruppe stellt dazu eine Möglichkeit vor, wie sich bildungssprachliche Zielsetzungen im Rahmen des Kompetenzbereichs Kommunikation grundlegend in den Biologieunterricht integrieren lassen. Darüber hinaus zeigen sie, wie die im Kernlehrplan Biologie (G8) gegebene Darstellung des Kompetenzbereichs Kommunikation in Anlehnung an den Kernlehrplan Deutsch (G8) anders aufgeschlüsselt werden kann, um eine fächerverbindende Kooperation im Sinne eines sprachsensiblen Fachunterrichts bzw. einer „Fachkonferenz Sprache“ zu verbessern oder vielleicht sogar überhaupt erst zu ermöglichen.

Am Beispiel eines aus diesen Überlegungen resultierenden Planungs- und Entwicklungsrasters für den Kompetenzbereich Kommunikation zeigt die Arbeitsgruppe darüber hinaus eine Möglichkeit zur systematischen Entwicklung, Erprobung und Evaluation von Unterrichtsreihen und -materialien unter sprachsensiblen Gesichtspunkten.

Am Beispiel von ausgewählten Materialien aus der Unterrichtsreihe „Hauptsache, es schmeckt“, welche als zweite Unterrichtsreihe dieser Arbeitsgruppe an die oben erwähnte erste Unterrichtsreihe („Biologie erforscht das Leben“) anschließt, werden am Beispiel vom „Schreiben linearer Texte“ Aspekte eines sprachsensiblen Fachunterrichts vorgestellt.

## **1. Einleitung**

„Die Sprache ist äußeres Denken, das Denken innere Sprache.“ Dieses Zitat von Antoine de Rivarol (1753–1801) bringt zum Ausdruck, dass Sprache und Denken untrennbar miteinander verbunden sind. Dies gilt auch für sämtliche Lehr- und Lernprozesse im Unterricht aller Fächer und Jahrgangsstufen. Dabei kommt insbesondere der Bildungssprache eine zentrale und lange unterschätzte Bedeutung für das fachliche Lernen zu (Prediger, Parchmann, Hammann & Frederking,

2016). Diese entwickelt sich jedoch nicht „en passant“ auf der Grundlage von Alltagssprache und der Einführung von Fachbegriffen, sondern muss gezielt in einem sprachsensiblen Fachunterricht entwickelt werden.

Mit dem Erlass zur Förderung der Deutschen Sprache als Aufgabe aller Fächer wurde bereits vor fast 20 Jahren der Schaffung von bildungssprachlichen Lernvoraussetzungen im Fachunterricht Nachdruck verliehen (vgl. MSWWE, 1999). Darüber hinaus wurden inzwischen zahlreiche Handreichungen und Materialien zu einem sprachsensiblen Fachunterricht veröffentlicht. Projekte wie das BISS-Projekt (Bildung durch Sprache und Schrift), an dem auch Gymnasien beteiligt sind, der Ganzttag an Gymnasien (vgl. Wilmanns, Willems, Thürmann, Platz & Bos, 2015) sowie die Dimension 2.7 („Bildungssprache und sprachsensibler Fachunterricht“) des Referenzrahmens für Schulqualität NRW (vgl. MSW, 2015, S. 33) zeigen, dass ein sprachsensibler Fachunterricht nicht mehr nur eine Aufgabe der Unterrichts- und Schulentwicklung an Hauptschulen oder Gesamtschulen ist, sondern für alle Schulformen zentrale Bedeutung hat.

An den Schulen ergeben sich bei der Umsetzung eines sprachsensiblen Fachunterrichts jedoch große Herausforderungen und Hürden, sowohl im Hinblick auf die Unterrichts- als auch im Hinblick auf die Schulentwicklung. Für viele Biologielehrerinnen und -lehrer herrscht angesichts fehlender allgemeingültiger Definitionen eine große Unklarheit darüber, was einen sprachsensiblen Biologieunterricht überhaupt ausmacht. Erschwerend kommen scheinbar konkurrierende Konzepte und Definitionen zu DaZ (Deutsch als Zweitsprache) hinzu. Vielfach entsteht zudem der Eindruck, als würde mit dem Schlagwort „sprachsensibler Fachunterricht“ über die „Hintertür“ ein neuer, zusätzlicher Kompetenzbereich in das Fach eingeführt. Für einige Fächer wie auch das Fach Biologie, deren Unterricht als Nebenfach in der Sekundarstufe I durch eine sehr begrenzte Stundentafel und ein hohes Maß an Mündlichkeit geprägt sind, stellt sich vor diesem Hintergrund die Frage, wie ein sprachsensibler Fachunterricht überhaupt realistisch und systematisch umgesetzt werden kann. In Punkto systematischer Schulentwicklung fehlt es darüber hinaus an Ideen und Werkzeugen, die zeigen, wie eine didaktisch-methodische Koordination eines sprachsensiblen Fachunterrichts unter der Beteiligung aller Fächer und Lernbereiche gelingen kann.

In dieser SINUS-Projektgruppe wurden in der zurückliegenden Projektphase Lösungsansätze für die oben genannten Herausforderungen aus der Perspektive einer fiktiven Biologiefachkonferenz am Gymnasium entwickelt, die im folgenden Artikel im Überblick dargestellt werden.

In Kapitel 2 wird zunächst erläutert, was mit einem sprachsensiblen Biologieunterricht gemeint ist und warum sprachliches Lernen unabdingbar für fachliches Lernen ist. Kapitel 3 zeigt eine Möglichkeit auf, Aspekte eines sprachsensiblen Fachunterrichts so in den Kompetenzbereich Kommunikation des Kernlehrplans zu integrieren, dass systematische Absprachen und Abstimmungen insbesondere mit dem Fach Deutsch (aber auch anderen Fächern) vereinfacht werden können.

In Kapitel 4 wird ein Planungs- und Analyseraster für den Kompetenzbereich Kommunikation vorgestellt und es wird an zwei Unterrichtsreihen erläutert, wie dieses Raster als Teil einer Unterrichtspartitur für die Planung, Dokumentation und Evaluation eines sprachsensiblen Biologieunterrichts in der Orientierungsstufe genutzt werden kann.

Kapitel 5 fokussiert innerhalb dieses Rasters auf den Bereich der Schreibkompetenz und zeigt an drei Beispielen, wie im Biologieunterricht der Klasse 5 am Gymnasium ohne größeren zeitlichen Aufwand nicht nur kleine Schreib-



anlässe geschaffen, sondern auch Schreibprozesse in kooperativen Lernformen ermöglicht werden können.

## 2. Sprachsensibler Fachunterricht

### Was ist sprachsensibler Fachunterricht und welche Bedeutung hat er?

Im Biologieunterricht hat Sprache zunächst zwei zentrale Bedeutungen:

1. Sie ist ein zentraler Lerngegenstand, der im klassischen Sinne v. a. in Form von sogenannten „Fachbegriffen“ explizit und planvoll eingeführt und eingeübt wird (die Bedeutung von Sprache als Lerngegenstand).
2. Sie ist zugleich aber auch das Medium der unterrichtlichen Kommunikation (z. B. durch Schulbuchtexte, Lehrfilme oder die Sprache der Lehrperson) und wird damit (schriftlich und/oder mündlich) zum zentralen Medium für fachliche Lernprozesse (die Bedeutung von Sprache als Lernmedium). (Vgl. Meyer & Prediger, 2012)

**Bedeutungen  
von Sprache im  
Biologieunterricht**

Aus diesen beiden Bedeutungen von Sprache ergeben sich drei Konsequenzen für Lehr-Lernprozesse:

1. Lernende, die sprachlich schwach sind, können ihre fachlichen Kompetenzen in Lern- und Testsituationen nicht hinreichend zeigen (kommunikative Funktion von Sprache).
2. Lernende, die sprachlich schwach sind, werden unweigerlich auf Schwierigkeiten beim Verstehen neuer Sachverhalte (kognitive Funktion von Sprache) stoßen, sodass sie fachliche Konzepte nicht kognitiv schlüssig aufbauen und fachliche Kompetenzen nicht vollständig entwickeln können (vgl. Maier & Schweiger, 1999).
3. Folglich ist Sprache zwar eine zentrale Voraussetzung für den Lernerfolg und kann zum Lernhindernis werden, wenn Lernende dadurch nur einen eingeschränkten Zugang zu fachlichen Phänomenen, Konzepten und Darstellungen finden. Der Sprache kommt damit eine dritte Bedeutung für den Biologieunterricht zu: die Bedeutung von Sprache als Lernvoraussetzung bzw. -hindernis (vgl. Prediger, 2013).

Während viele Jahre lang davon ausgegangen wurde, dass die eigentliche sprachliche Herausforderung des Fachunterrichts in der Fachsprache (Fachbegriffe, fachspezifische Satzstrukturen und Textsorten) liegt (vgl. Maier & Schweiger, 1999, S. 20ff.), zeigen vor allem Studien zum Mathematikunterricht in den letzten Jahren, dass häufig bildungssprachliche Wendungen, Satzkonstruktionen und Beziehungsgefüge für viele Lernende größere Hürden im Vorstellungsaufbau darstellen als Fachbegriffe (vgl. Gogolin 2009; vgl. Prediger et al., 2016). Dies ist insofern nicht verwunderlich, als dass sämtliche fachsprachlichen Aspekte sowohl in Fachtexten (Schulbüchern etc.) als auch in der Unterrichtssprache der Lehrperson in Bildungssprache eingebettet sind. Bildungssprache besitzt daher einen zentralen und lange unterschätzten Stellenwert in fachlichen Lernprozessen (Prediger et al., 2016).

**Fachsprache**

**Bildungssprache**

Während fachsprachliche Mittel im Unterricht meist explizit eingeführt werden, bleiben die bildungssprachlichen Mittel dagegen oft unberücksichtigt, obwohl bildungssprachliche Mittel wichtige kognitive Werkzeuge bzw. Denkmittel für fachliches Lernen sind. Folglich darf fachliches Lernen auch nicht mit der Einführung und Anwendung von Fachbegriffen (Fachsprache) abgeschlos-

sen sein, sondern muss durch bildungssprachliche Mittel unterstützt werden, die für die mentale Konstruktion von fachlichen Konzepten sowie für die Erschließung und Darbietung von fachlichen Inhalten von zentraler Bedeutung sind. Bildungssprache sollte daher selbst zum unterrichtlichen Lerngegenstand in jedem Fach werden (Gogolin, 2009; Meyer & Prediger, 2012).

**Definition  
sprachsensibler  
Fachunterricht**

Ein sprachsensibler Fachunterricht ist fachinhaltsbezogenes (nicht isoliertes) bildungssprachliches Lernen (vgl. Thürmann, 2011, S. 4ff.). Er richtet den Blick auf die Register Bildungssprache und Fachsprache und vermittelt anhand konkreter fachlicher Sach- und Problemzusammenhänge die bildungssprachlichen Voraussetzungen, mit deren Hilfe Schülerinnen und Schüler komplexe und fachlich anspruchsvolle Sinnzusammenhänge kognitiv durchdringen und sprachlich darstellen können. Er befähigt die Schülerinnen und Schüler zu einem sachangemessenen Sprachhandeln im jeweiligen Fach (vgl. Thürmann, 2011, S. 8). Im Gegensatz zur Auffassung eines traditionellen Fachunterrichts, dass alle für das Fach relevanten bildungssprachlichen Mittel allein durch den Deutschunterricht vermittelt werden, ist man inzwischen der Überzeugung, dass sie am besten dort erlernt werden können, wo sie als notwendig und sinnvoll erlebt werden, also im Fach selbst. Denn erst durch die Fokussierung auf fachliche Sachverhalte und fachspezifische Methoden werden für die Schülerinnen und Schüler problemorientierte und daher glaubhafte Kontexte für bedeutsames und relevantes kommunikatives Handeln geschaffen, in denen authentische Prozesse des Aushandelns von Sinn und Bedeutung (negotiation of meaning) stattfinden, die den Spracherwerb positiv verstärken (vgl. Thürmann, 2011, S. 2)

**Was ist bei der Planung und Durchführung eines sprachsensiblen  
Fachunterrichts zu berücksichtigen?**

**Ansatzpunkte  
für einen  
sprachsensiblen  
Fachunterricht**

Grundsätzlich gelten für die Gestaltung und Reflexion von Lehr-Lernprozessen in einem sprachsensiblen, kompetenzorientierten Fachunterricht folgende Gelingensbedingungen:

- Herstellung von Transparenz für Schülerinnen und Schüler in Bezug auf fachliche und bildungssprachliche Erwartungen (z.B. am Anfang einer Unterrichtsreihe, am Anfang einer Stunde oder in einer Aufgabenstellung),
- sensibler Umgang mit Fach- und Bildungssprache in Unterrichtsgesprächen und Monologen (Lehrkraft als bildungs- und fachsprachliches Vorbild und Modell),
- Entschleunigung der unterrichtlichen Interaktion und Schaffung von mehr Sprachanlässen (z.B. durch kooperative Lernmethoden und Prinzipien wie Think-Pair-Share, Placemat etc.),
- Einsatz von Lernaufgaben mit einem doppelten (fachlichen und bildungssprachlichen) Fokus,
- Ermittlung eines anlassbezogenen und systematischen Unterstützungsbedarfs,
- Formulierung von Aufgabenstellungen, in denen die doppelte Fokussierung auf inhaltlich-kognitive und sprachliche Aspekte deutlich wird,
- Bereitstellung von fachunterrichtlich relevanten bildungssprachlichen Redemitteln oder optisch-visuellen Unterstützungen (Einsatz von Sprachgerüsten [„Scaffolding“] zur Unterstützung von Bildungssprachlichkeit),
- Prinzip der Reflexion und Metakommunikation (explizite Bewusstmachung z.B. von Lesehaltung, Lesestrategien, Lesetechniken sowie Phasen der expliziten Erschließung textsortentypischer Sprachmuster, Textstrukturen und Darstellungsstrategien),
- konstruktives Feedback.

### **3. Schaffung von Grundlagen zur Kooperation mit dem Fach Deutsch und anderen Fächern im Sinne eines sprachsensiblen Fachunterrichts in dem Kompetenzbereich Kommunikation**

Ein sprachsensibler Fachunterricht kann sein volles Potenzial erst dann erreichen, wenn [alle] Fächer untereinander und mit dem Deutschunterricht abgestimmt zusammenarbeiten. Doch wie kann dies angesichts der Vielzahl fachlicher Kernlehrpläne und den darin aufgeführten z.T. sehr unterschiedlichen Kompetenzbereichen gelingen?

Als eine wesentliche systematische Voraussetzung für die Schul- und Unterrichtsentwicklung in Richtung einer durchgängigen und nachhaltigen Sprachbildung wird in der Fachliteratur z. B. die Einrichtung einer „Fachkonferenz Sprachen“ (vgl. Thürmann, 2011) genannt. In diesem Gremium sind idealerweise alle Fächer und Lernbereiche vertreten und übernehmen miteinander abgestimmt die didaktisch-methodische Koordination des inhaltsbezogenen sprachlichen Lernens.

Die Fachkonferenz Sprachen setzt ein bildungssprachliches Abschlussprofil fest und definiert damit sprachliche Standards, die am Ende der Vollzeitschulpflicht erreicht werden sollen. Innerhalb dieser Fachkonferenz werden außerdem idealerweise jahrgangs- und fachbezogene Schwerpunkte der Sprachbildung nach Textsorten, kognitiv-sprachlichen Grundfunktionen und bildungssprachlichen Mitteln festgelegt. Auf Grundlage dieser Arbeit können die einzelnen Fächer bzw. Fachbereiche dann gezielt Materialien erstellen oder abwandeln, die die Sprache besonders berücksichtigen und damit den Kompetenzaufbau in den von der Fachkonferenz Sprache festgelegten Bereichen fördern. Da es an den Schulen der Autorinnen (noch) keine „Fachkonferenz Sprachen“ und damit auch keine fachübergreifenden Absprachen zum sprachsensiblen Unterrichten gibt, wurde nach einem System gesucht, das es zunächst auf der Ebene der Fachkonferenz Biologie ermöglicht, Absprachen für einen sprachsensiblen Fachunterricht zu vereinbaren. Dieses System sollte darüber hinaus aber auch so gewählt werden, dass es die Einpassung in ein späteres Konzept auf Schulebene offenhält. Wenn ein sprachsensibler Fachunterricht sein volles Potenzial erst dann erreichen kann, wenn [alle] Fächer v. a. mit dem Deutschunterricht abgestimmt zusammenarbeiten, dann könnte nach Einschätzung der Autorinnen ein pragmatischer Ansatz in einer Umgestaltung der prozessbezogenen Kompetenzformulierungen des KLP Biologie Gymnasium (G8) unter Einbezug der Kompetenzen des KLP Deutsch (G8) liegen.

Bei der Umsetzung ihres Anliegens stießen die Autorinnen zunächst auf die folgenden Probleme. Der Kernlehrplan Biologie für den verkürzten Bildungsgang am Gymnasium lässt sämtliche Gesichtspunkte eines sprachsensiblen Fachunterrichts weitgehend außer Acht. Die Entwicklung von Lese-, Schreib- und Sprechkompetenz wird im Kompetenzbereich Kommunikation auf „Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen“ (KLP G8, S. 20) reduziert. Die Kompetenzformulierungen lassen dementsprechend auch keine Beziehung zu den Bereichen sprachlichen Handelns und Lernens erkennen, sind z.T. schwammig formuliert und haben sich in der Praxis als untauglich erwiesen. Die gewählten Operatoren (tauschen sich aus, kommunizieren, reflektieren, beschreiben und erklären, veranschaulichen sowie dokumentieren und präsentieren) machen der/dem Planenden nicht ausreichend transparent, in welchem Bereich hier Sprachkompetenzen ausgebildet werden sollen. Dies erschwert vor

allem eine fachübergreifende Verständigung über die Vermittlung bildungssprachlicher Kompetenzen, für die es international auch in den Naturwissenschaften bereits verschiedene Vorbilder wie z. B. den Ansatz der „Think-Literacy“ in Kanada oder auch die „Baseler Sprachprofile“ gibt.

Die hier aufgeführte Übersicht des Kompetenzbereichs „Kommunikation“ ist an den Adressatenkreis von Schülerinnen und Schülern gerichtet und ist dementsprechend in Form von sogenannten „Ich-“ oder „Ich-Kann-Kompetenzen“ formuliert. Sie zeigt das Ergebnis dieser Umstrukturierung in Orientierung an dem KLP Deutsch (G8). Zu erkennen ist dabei eine deutlichere Untergliederung in die Bereiche Sprechen und Zuhören (K1–K4), Schreiben (K5–K8) und Lesen (K9–K12), die eine Verständigung über Aspekte des sprachsensiblen Unterrichts sowie ihre planerische und unterrichtliche Umsetzung deutlich vereinfachen.

**Neustrukturierung  
des Kompetenzbereichs Kommunikation zur Vereinfachung der innerfachlichen und fachübergreifenden Austausch**




		Ich kann ...
Sprechen und Zuhören  	K1 Sprechen	... zu einem begrenzten Sachthema stichwortgestützt Ergebnisse verständlich vortragen.
	K2 Präsentieren	... einen strukturierten Vortrag unter Verwendung von Medien adressatenbezogen halten.
	K3 Zuhören	... aufmerksam zuhören, Notizen zu Gehörtem machen und sach-, situations- und adressatenbezogen reagieren.
	K4 Rückmelden	... die Beiträge anderer kritisch aufnehmen und ihnen unterstützende und hilfreiche Rückmeldungen geben.
Schreiben  	K5 Schreiben linearer Texte	... einfache Sachtexte (Beschreibung, Protokoll) unter Verwendung von Schreibhilfen richtig (Rechtschreibung, Grammatik) verfassen.
	K6 Schreiben nicht-linearer Texte	... aus Daten und Informationen Tabellen, Säulen-, Kurven- und Strukturdiagramme sowie bildliche Modelle erstellen.
	K7 Schreiben argumentativer Texte	... schriftlich eine eigene Meinung formulieren und hierfür Argumente anführen.
	K8 Heft führen / Portfolio erstellen	... eine geordnete und strukturierte (Blattaufteilung, Rand, Absätze, Lesbarkeit) Unterrichtsmitschrift anfertigen.
Lesen  	K9 Sachtexte lesen	... einfache Sachtexte flüssig lesen.
	K10 Sachtexte bearbeiten	... einem Sachtext Informationen entnehmen, indem ich Textaussagen markiere, Notizen zu Gelesenem mache, Fragen an den Text formuliere und einzelne Begriffe und Aussagen kläre.
	K11 Sachtexte verstehen	... einem Sachtext (auch Bildern und Diagrammen) Informationen entnehmen und diese für die Klärung von Sachverhalten nutzen.
	K12 Informationsmöglichkeiten nutzen	... Informationen zu einem Thema / Problem in unterschiedlichen Medien suchen, vergleichen und auswählen.

Abbildung 1: Kompetenzerwartungen im Bereich „Kommunikation“ in Form von „Ich-Kompetenzen“

In Orientierung am Kernlehrplan Deutsch wurden einige Kompetenzbereiche übernommen, andere wiederum abgeändert, ergänzt oder hinzugefügt, sodass die Kompetenzen zum einen für das Fach Biologie sinnvoll nutzbar sind und zum anderen eine gemeinsame Grundlage für die Weiterarbeit in unterschiedlichen Fachkonferenzen bilden können. Das Ergebnis ist in der oberen Tabelle sichtbar. Die Kompetenzen „Sprechen“ und „Präsentieren“ wurden für das Fach Biologie getrennt (K1 und K2). Sie bedingen einander zwar, allerdings ist das Präsentieren eine Kompetenz, die durch den Einbezug eines Medieneinsatzes eine deutlich höhere Kompetenzstufe darstellt, sodass die Formulierung als eine eigene Kompetenzfacette sinnvoll ist.

Des Weiteren ist es im Biologieunterricht (und nicht nur hier) erforderlich, angemessene Rückmeldestrategien (Feedback) zu fördern und zu fordern. Die Entwicklung einer sinnvoll strukturierten Rückmeldekultur sollte nicht zuletzt gemäß der Dimension 2.5 („Feedback und Beratung“) des Referenzrahmens für Schulqualität NRW (vgl. MSW, 2015, S. 28f.) so früh wie möglich eingeleitet werden, sodass dann bis in die Oberstufe hinein eine angemessene Rückmeldekompetenz aufgebaut werden kann. Aus diesem Grund wurde die Kompetenz K4 in dieses Kompetenzraster eingefügt.

K5 bis K7 umfassen die Schreibkompetenzen, wobei an dieser Stelle lineare und nichtlineare sowie argumentative Texte für das Fach unterschieden werden. Diese Bereiche sind für die naturwissenschaftlichen Fächer grundlegend. Wie im KLP Deutsch wurde das Heftführen bzw. Erstellen eines Portfolios (K8) ebenfalls eingegliedert, da eine ordentliche, strukturierte Heftführung nicht selbstverständlich ist und gelernt werden muss, sodass im weiteren Verlauf des Bildungsgangs eine angemessene Mitschrift eigenständig erstellt werden kann. Die Leseflüssigkeit ist eine Grundvoraussetzung für das Bearbeiten (K10) und Verstehen (K11) von Sachtexten. Nur wer einen Text flüssig (vor-)lesen kann, ist auch in der Lage, ein angemessenes Textverständnis zu entwickeln. Daher wurde die Kompetenz K9 ergänzt.

#### 4. Arbeit mit dem Planungs- und Analyseraster „Kommunikation“

Wie bereits in der ersten Veröffentlichung der Arbeitsgruppe ausführlicher dargestellt, erfolgt die Reihen- und Unterrichtsplanung dieser Arbeitsgruppe in Anlehnung an das Lehr-Lern-Modell von Leisen (2010) mit den darin beschriebenen Handlungssituationen, die bei der aufgabengesteuerten Erstellung eines Lernproduktes von den Schülerinnen und Schülern innerhalb einer Unterrichtseinheit bewältigt werden müssen. Nur dort, wo sie Gelegenheiten zum Handeln erhalten, besteht auch die Möglichkeit zur Übung und zum Erwerb von Kompetenzen in einer Unterrichtsstunde (vgl. Dirks, Engelen & Lübeck, 2015, S. 13f.). Durch die Fokussierung auf Handlungssituationen, die sich unterschiedlichen Kompetenzfacetten des Kompetenzbereichs zuordnen lassen, wird auch über einen längeren Zeitraum planerisch deutlich, an welchen Stellen der Unterricht bisher Lücken gelassen hat.

Die folgende Übersicht zeigt am Beispiel der Start-Reihe „Biologie erforscht das Leben“ (erste Unterrichtsreihe der Arbeitsgruppe) die planerische Schwerpunktsetzung im Kompetenzbereich „Kommunikation“.

Handlungssituationen


	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10	K 11	K 12
	Sprechen	Präsentieren	Zuhören	Rückmelden	Schreiben linear	Schreiben nichtlin.	Schreiben argument.	Heftführung Portfolio	Texte lesen	Texte bearbeiten	Texte verstehen	Recherche
1.												
2.												
3.												
4.												
5.												
6.												
7.												
8.												
9.												
10.												
11.												

Abbildung 2: Planungs- und Analyseraster „Kommunikation“ für die Start-Reihe „Biologie erforscht das Leben“

Die grauen Hervorhebungen zeigen, in welcher Unterrichtsstunde (Zeile) in Bezug auf welche Kompetenzfacette (Spalten K1 bis K12) Handlungssituationen ermöglicht wurden. Die weißen Felder zeigen Stunden und Kompetenzfacetten, in denen den Schülerinnen und Schülern in Bezug auf den Kompetenzbereich Kommunikation keine nennenswerten Gelegenheiten zum Handeln ermöglicht wurden.

In Stunde 8 sind beispielsweise zwei Handlungssituationen grau hervorgehoben, erstens im Bereich K6 (Schreiben nichtlinearer Texte) und zweitens im Bereich K9 (Texte lesen). In dieser Stunde erhalten die Schülerinnen und Schüler die Gelegenheiten,

- Daten in einem Säulendiagramm darzustellen,
- für eine geringe Anzahl von Daten eine Strichliste bzw. Häufigkeitstabelle zu erstellen,
- angeleitet ein Säulendiagramm mit vier Säulen zu zeichnen und dabei auf die Skaleneinteilung und -beschriftung zu achten.

Diese Handlungssituationen sind der Kompetenzfacette K6 (Schreiben nichtlinearer Texte) zuzuordnen. In Bezug auf die Kompetenzfacette K9 (Texte lesen) erhalten sie ferner die Gelegenheit,

- die in einem einfachen Säulendiagramm aufgetragenen Werte abzulesen.

Eine detailliertere Reihenübersicht mit Handlungssituationen und Kompetenzfacetten befindet sich zudem im Anhang dieses Artikels (siehe Gliederungspunkt 7). Die in den dort aufgeführten Tabellen ausformulierten Handlungssituationen, in denen die Schülerinnen und Schüler an ihrem Kompetenzerwerb kognitiv handelnd arbeiten, geben gleichzeitig einen Hinweis auf mögliche *Überprüfungssituationen* (Testaufgaben), in denen der Kompetenzzuwachs ermittelt werden kann. Die Materialien (Stundenplanungen, didaktisch-methodische Überlegungen, Arbeitsblätter und Folien) können auf der SINUS-Seite<sup>1</sup> heruntergeladen werden.

1 <http://www.sinus.nrw.de/>.

In der in Abbildung 2 dargestellten ersten Unterrichtsreihe („Biologie erforscht das Leben“) lagen die Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung auf dem Erstellen nichtlinearer Texte (K6), dem Lesen von Texten (K9) sowie dem Verstehen von Texten (K11).

Das Schreiben linearer Texte (K5) wurde im Gegensatz dazu nur in drei Unterrichtsstunden in die Unterrichtseinheit integriert. Die Kompetenzen „Sprechen“, „Präsentieren“ und „Zuhören“ wurden in der ersten Unterrichtsreihe, außer in der letzten Stunde, nicht berücksichtigt.

Aus dieser Analyse ergeben sich notwendig planerische Konsequenzen für den nachfolgenden Unterricht. Die in der ersten Unterrichtsreihe angebahnten Kompetenzen sollen in der zweiten Unterrichtsreihe („Hauptsache, es schmeckt“) aufgegriffen, eingeübt und weiterentwickelt werden. Fernerhin sollen andere Kompetenzfacetten (z. B. K3, K6 oder K5), die in der ersten Unterrichtsreihe nicht vorkamen, einen Bestandteil der folgenden „Hauptsache, es schmeckt“-Reihe bilden.


	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10	K 11	K 12
	Sprechen	Präsentieren	Zuhören	Rückmelden	Schreiben linear	Schreiben nichtlin.	Schreiben argument.	Heftführung Portfolio	Texte lesen	Texte bearbeiten	Texte verstehen	Recherche
1.												
2.												
3.												
4.												
5.												
6.												
7.												
8.												
9.												
10.												
11.												
12.												
13.												

Abbildung 3: Planungs- und Analyseraster „Kommunikation“ für die zweite Unterrichtsreihe „Hauptsache, es schmeckt“

In Kapitel 5 werden nun in Bezug auf die Kompetenzfacette K5 (Schreiben linearer Texte) am Beispiel einiger Materialien Möglichkeiten dargestellt, wie mit geringem Aufwand für Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Jahrgangsstufe 5 Lernanlässe mit einem sprachsensiblen Fokus in diesem Bereich geschaffen werden können. Eine detailliertere Reihenübersicht mit Handlungssituationen und Kompetenzfacetten befindet sich zudem im Anhang dieses Artikels (siehe Gliederungspunkt 7). Die Materialien (Stundenplanungen, didaktisch-methodische Überlegungen, Arbeitsblätter und Folien) können auf der SINUS-Seite heruntergeladen werden.

## 5. Beispiele für einen sprachsensiblen Fachunterricht am Beispiel des Schreibens von linearen Texten

### Zur Bedeutung des Schreibens im Biologieunterricht

Wie in vielen sogenannten Nebenfächern in NRW wird auch im Biologieunterricht der Sekundarstufe I dem Schreiben nur eine geringe Bedeutung beigemessen. Nur selten werden Schreibanlässe für Schülerinnen und Schüler geschaffen (vgl. Thürmann, Pertzel & Schütte, 2015, S. 29f.). Schreiben bzw. Schreibaufgaben werden häufig als zu zeitaufwendig eingestuft, zumal die Ergebnisse von Schreibprozessen häufig dann auch nicht den fachinhaltlichen Erwartungen entsprechen. Angesichts des begrenzten Stundendeputats eines Nebenfachs wird daher vielfach auf Unterrichtsgespräche und mündliche Beiträge gesetzt, da sich Sachverhalte auf diese Weise vermeintlich einfacher und v. a. schneller klären lassen (vgl. Leisen, 2008, S. 5).

#### Mündlichkeit

Auch wenn Mündlichkeit den vermeintlichen Vorteil hat, dass sie weniger zeitintensiv ist, so folgt sie jedoch anderen Regeln als Schriftlichkeit und besitzt auch klare Nachteile im Hinblick auf Lehr-Lernprozesse. Mündlichkeit ist in der Regel unmittelbar, unvollständig und ungenau (Ungesagtes wird durch Gesten, Mimik, Zeigewörter etc. kompensiert). Sie ist vor allem aber auch schnell und flüchtig. Deshalb verlangt es ein höheres Maß an Konzentration von den Zuhörern, wenn sie fehlerhafte mündliche Beiträge fachlich (Was wird gesagt?) und sprachlich (Wie wird es gesagt?) korrigieren wollen. Außerdem gehen derartige Korrekturen häufig auf Kosten des Gesprächsflusses (vgl. Pertzel & Schütte, 2016, S. 14).

#### Schriftlichkeit

Schriftlichkeit dagegen ist mittelbar, d. h., sie ist auf einen vorgestellten „Gesprächspartner“ hin ausgerichtet, der nicht antworten kann, aber verstehen soll (vgl. Leisen, 2008, S. 5). Dies führt zu einer Verlangsamung des inneren Denkens und der Kommunikation, die eine intensivere und vertiefte Auseinandersetzung mit den Lerngegenständen ermöglicht, als dies z. B. in Unterrichtsgesprächen der Fall ist. Daraus ergeben sich viele Vorzüge für die Verfasser, die sowohl für fachliche als auch bildungssprachliche Lehr- und Lernprozesse genutzt werden können. Ohne den Zeitdruck der mündlichen Kommunikation können die Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Gedanken und fachlichen Konzepte

- überdenken und ordnen,
- in einen logischen Zusammenhang bringen,
- gegliedert darstellen,
- sprachbewusst und präzise verbalisieren sowie
- bewusst und reflektiert damit argumentieren.

Die Entschleunigung der kognitiven Prozesse führt bei Schülerinnen und Schülern zu sach- und problembezogenen inneren Monologen (private speech), wodurch auch komplexer strukturierte Aussagen konstruiert und erprobt werden, auch wenn sie nicht jedes Mal im Klassendiskurs „veröffentlicht“ werden (vgl. Thürmann, 2011, S. 2).

Vielfach ist dabei die Verwendung bildungssprachlicher Strukturen nicht nur hilfreich, sondern auch notwendig, um eine fachlich präzisere und abstraktere Ebene zu erreichen (vgl. Pertzel & Schütte, 2016, S. 14). Dementsprechend werden Schülerinnen und Schüler durch Schreibaufgaben vor die Herausforderung gestellt, ihre eigenen verfügbaren Sprachmittelinventare und Verwendungsstrategien zu reaktivieren, neu zu strukturieren und ggf. zu erweitern (vgl. Thürmann, 2011, S. 2). Solche Lernprozesse können z. B. durch ein bedarfsorientiertes Angebot von



sprachlichen Hilfestellungen und Modellen unterstützt werden. Insgesamt können bildungssprachliche Strukturen über das Schreiben leichter vermittelt werden als über mündliche Beiträge. Folglich ist Schreiben ein wesentliches Lernmedium zum Erwerb von Bildungssprache (vgl. Pertzel & Schütte, 2016, S. 14).

Es ist aber auch „Denkwerkzeug“ für fachliches Lernen, durch das fachliche Konzepte reaktiviert, (um-)strukturiert und präzisiert werden können. Denn erst im Schreibprozess wird Schülerinnen und Schülern bewusst, wo sie noch Wissenslücken haben bzw. was sie noch nicht richtig verstanden haben, sodass sie gefordert sind, ihre Lücken zu schließen (vgl. Pertzel & Schütte, 2016, S. 14). Außerdem wird eine größere kognitive Verarbeitungstiefe erreicht, was wiederum positive Konsequenzen für Behaltensleistungen und kognitive Konzeptualisierung hat (vgl. Thürmann, 2011, S. 2). Letztlich besitzt darüber hinaus auch das entstandene Schreibprodukt ein hohes Reflexionspotenzial, da die niedergeschriebenen Gedanken (auch mit zeitlichem Abstand) leichter reflektier- und analysierbar sind als flüchtige mündliche Produkte (vgl. Pohl & Steinhoff, 2010, S. 10). Sie können daher einfacher zum Gegenstand von Reflexion und Metakommunikation in Lehr-Lernprozessen gemacht werden.

Ein wichtiges Ziel eines sprachsensiblen Biologieunterrichts muss es daher trotz der zeitlichen Einschränkungen eines Nebenfachs sein, möglichst viele Schreibanlässe zu schaffen. Dabei müssen Schreibanlässe nicht unbedingt immer gleich große Schreibaufgaben bzw. schriftliche Ausarbeitungen sein. Die Bandbreite reicht von sehr kleinen Aufgaben bis hin zu umfangreicheren Großformaten. Im Folgenden sind Beispiele für solche Schreibanlässe aufgelistet. Sie können Grundlage für die Entwicklung eigener Materialien sein und sind geeignet, um vorhandene Materialien mit sprachsensiblen Aufgaben zu ergänzen:

- Notizen machen, um mündliche Beiträge vorzubereiten: Schülerinnen und Schülern wird (z.B. im Rahmen des Think-Pair-Share-Verfahrens) die Gelegenheit gegeben, ihre Gedanken, Assoziationen und Ideen zunächst einmal auf einem Notizzettel in Form von Stichwörtern und kurzen Sätzen schriftlich festzuhalten, um damit ihre mündlichen Beiträge entweder im Plenum oder in der Gruppe vorzubereiten.
- Gliederungen, Konzepte oder Thesenpapiere erstellen, um Kurzvorträge oder Zeitungsartikel vorzubereiten: Schülerinnen und Schülern wird die Gelegenheit gegeben, ihre Gedanken, in Form von Gliederungspunkten oder einer Thesen-Hierarchie schriftlich vorzustrukturieren, um damit einen „roten Faden“ in komplexere Sachverhalte zu bringen.
- Das Schreiben „des perfekten Spickzettels“, eines Lernplakats etc.
- Der Wechsel von Darstellungsformen wie z.B. die Beschreibung eines Bildes, eines Diagramms, aber auch die Aufbereitung von Daten in geeignete Diagrammtypen und Skalierungen.
- Das Verfassen bestimmter Texttypen (mit unterschiedlichen Adressatenkreisen) wie z.B. eine Postkarte, eine E-Mail, ein Abstract, ein Artikel, ein Wikipedia-Eintrag o. Ä.

Solche Schreibaufgaben verlangen von den Schülerinnen und Schülern in unterschiedlichem Maße und mit dem Fokus auf unterschiedliche bildungssprachliche Aspekte, einen konzeptionell schriftlichen Text zu verfassen.

**Schaffung kleiner  
Schreibanlässe**

Dabei sind im Fach Biologie grundlegend zwei Arten von Texten zu unterscheiden: nichtlineare bzw. diskontinuierliche Texte und lineare bzw. kontinuierliche Texte. In beiden spielen sehr unterschiedliche sprachliche Konventionen eine Rolle. Die in 5.2 folgenden Materialbeispiele aus der zweiten Unterrichtsreihe nehmen das Schreiben linearer Texte in den Blick.

### Materialien und Erläuterungen

Ein wesentliches Kennzeichen eines sprachsensiblen Fachunterrichts ist ein doppelter Planungsfokus, der sowohl auf fachliche und fachmethodische Konzepte zielt als auch auf fachlich relevante bildungssprachliche Konzepte und Kompetenzen. Im Folgenden werden einige Aufgaben der Unterrichtsreihe „Hauptsache, es schmeckt“ vorgestellt, um daran am Beispiel des Schreibens linearer Texte aus den Stunden 1, 6 und 9 Möglichkeiten der Umsetzung eines sprachsensiblen Biologieunterrichts zu erläutern.

#### Beispiel 1 (1. Stunde)

In der ersten Stunde der Reihe liegt der fachliche Fokus auf der Unterscheidung der Fachkonzepte „Baustoff“ und „Brennstoff“, die in der folgenden Concept-Map (vgl. Abbildung 4) dargestellt sind. Deutlich werden soll dabei, dass die mit Nahrung vom Menschen aufgenommenen Nährstoffe einerseits als Energielieferanten und somit als Brennstoff für Bewegung und Denkprozesse und andererseits als Baustoff für das Wachstum und den Aufbau des Körpers dienen.

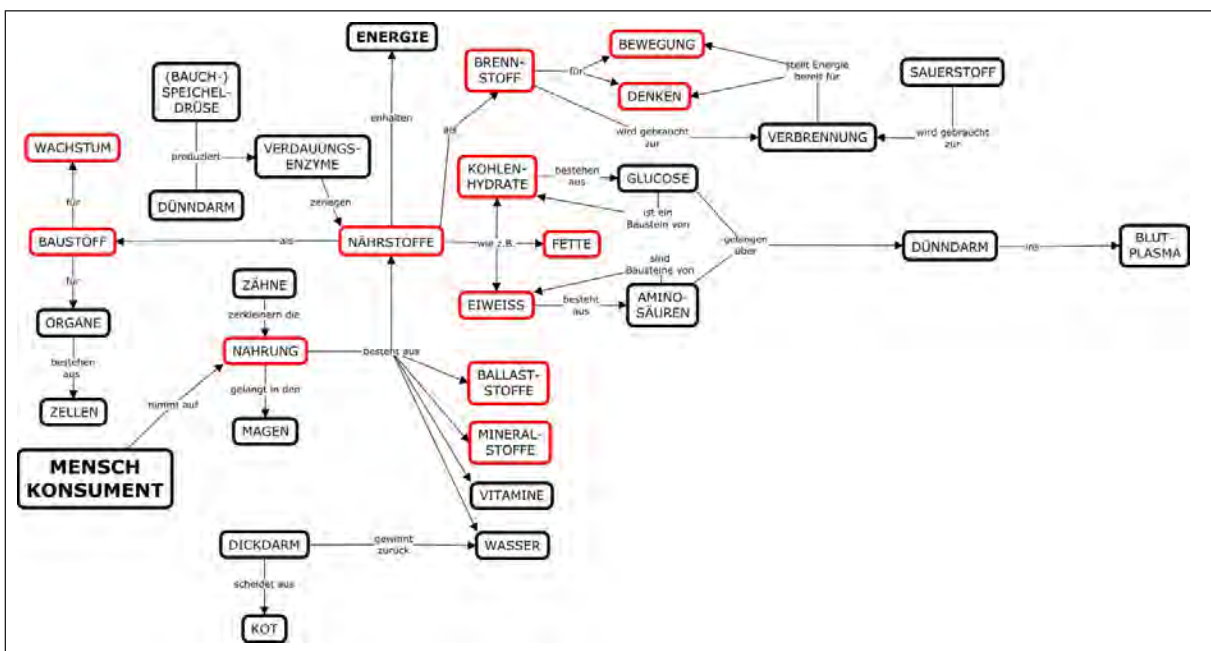


Abbildung 4: Concept-Map der Reihe „Hauptsache, es schmeckt“

Der Ablauf der Stunde gestaltet sich wie folgt. Die Lernenden bearbeiten in dieser Stunde, an ihre Vorerfahrungen anknüpfend, einen Text, der ihnen grundlegende Informationen über Nähr- sowie Bau-, Brenn-, Ballast- und Mineralstoffe liefert und somit die Frage beantwortet, warum wir eigentlich essen und trinken müssen. Anschließend wird ihnen im Plenumsgespräch eine Folie präsentiert, die den Vergleich der Fachbegriffe „Baustoff“ und „Brennstoff“ an Maschine (Auto) und Mensch vergleichend thematisiert und damit Sprachmaterial bereitstellt, sodass die Schülerinnen und Schüler ihr erworbenes Wissen im Rahmen eines anderen inhaltlichen Kontextes der Stunde sprachlich angemessen darstellen können. Abschließend erstellen sie mithilfe eines Arbeitsblattes (Abbildung 5) ein Lernprodukt, indem sie Bau- und Brennstoffe bei Lebewesen benennen und mit ihrer Bedeutung in einem Fließtext ausformulieren.

	<b>Hauptsache, es schmeckt?</b>	
<b>Bau- und Brennstoffe</b>		
Der Marsmensch berichtet:		
„Auf diesem Planeten ‚Erde‘ habe ich zwei Arten von Wesen entdeckt, die sich fortbewegen. Die einen haben vier Räder aus Gummi und <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">ihr Körper</span> besteht aus Blech und Glas als <b>Baustoff</b> .		
Manchmal halten sie an bestimmten Stellen an, um eine Flüssigkeit mit dem Namen ‚Benzin‘ zu sich zu nehmen. Das scheint ein <b>Brennstoff</b> zu sein, mit dessen Energie sie sich weiter fortbewegen können.		
Dann gibt es auch noch Wesen mit vier Beinen, die sich fortbewegen können. ...“		
<b>Aufgabe:</b> Schreibe den Bericht weiter. Nutze die Begriffe Baustoffe und Brennstoffe.		
<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Ihr Körper</span> _____ _____		
<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Manchmal</span> _____ _____ _____ _____		
	<b>Baustoffe</b> sind Stoffe, ...	
	<b>Brennstoffe</b> sind Stoffe, ...	

Abbildung 5: Arbeitsblatt „Bau- und Brennstoffe“

Der sprachliche Fokus der Stunde wird im Folgenden verdeutlicht. Der halboffene Schreibauftrag („Schreibe den Bericht weiter. Nutze die Begriffe Baustoffe und Brennstoffe.“) erfordert von den Schülerinnen und Schülern die Umformung eines inhaltlich ähnlichen Textes. Sie haben zuvor bereits das fachliche Wissen erworben, dass Bau- und Brennstoffe über Nährstoffe aufgenommen werden müssen und als Energielieferant bzw. für den Aufbau des Körpers unerlässlich sind. Dieses inhaltliche Wissen nun aber auch sprachlich präzise und adäquat umzusetzen, ist für viele Lernende eine Hürde. Das Arbeitsblatt zeigt, wie im Rahmen des Scaffolding den Lernenden durch die Möglichkeit der Orientierung am Ausgangstext und durch vorgegebene Satzanfänge Hilfestellungen gegeben werden können, sodass eine sprachliche Umsetzung des inhaltlichen Wissens auch gelingen kann und die Lernenden bereits in der 5. Klasse mit Hilfestellung kurze Sätze adäquat formulieren können.

Einfache Satzstrukturen werden vorgegeben, die an das zuvor im Plenum Diskutierte anschließen (Maschine und Mensch). Die Fachbegriffe sind durch den Fettdruck hervorgehoben. Die Satzanfänge, die durch die Lernenden für das Vervollständigen des Berichtes verwendet werden sollen, um eine klare Textstruktur erkennbar zu machen, sind durch Kästchen um die jeweiligen Begriffe gekennzeichnet.

Die Schülerinnen und Schüler können sich an dieser Struktur orientieren und haben somit ein vorgegebenes Sprachgerüst. Es findet eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Begrifflichkeiten statt, die jetzt von der Maschine auf die Situation bei Lebewesen übertragen werden müssen.

Die abschließende Aufforderung zu einer Definition für die Begriffe „Baustoff“ und „Brennstoff“ ermöglicht der Lehrperson gerade in sprachlich heterogenen Lerngruppen einen schnellen Überblick darüber, ob noch eher auf umgangssprachlicher Ebene („Baustoffe sind Stoffe, aus denen ein Auto gemacht worden ist, also Blech für die Karosserie, Gummi für die Reifen und Glas für die Scheiben.“) formuliert wird oder ob durch Verwendung des eingeführten Sprachmaterials bereits fachsprachliche Formulierungen genutzt werden („Brennstoffe sind Stoffe, aus denen wir Energie gewinnen, um uns bewegen und denken zu können. Es sind vor allem Fette und Kohlenhydrate.“).

### Beispiel 2 (6. Stunde)

In der 6. Stunde der „Hauptsache, es schmeckt“-Reihe sollen die Schülerinnen und Schüler am Beispiel der Durchführung eines Vitamin-C-Nachweises ihr experimentelles Vorgehen in Form einer Antwortpostkarte (Abbildung 8) an den Schiffskoch Martin beschreiben. Der fachliche Fokus liegt dabei auf einer Konsolidierung des (übergeordneten) fachmethodischen Konzepts des hypothetisch-deduktiven Wegs der experimentellen Erkenntnisgewinnung. Der sprachliche Fokus dieser Aufgabe liegt dabei auf einer strukturierten Vorgangsbeschreibung in Form eines fortlaufenden und zusammenhängenden linearen Textes (kognitiv-sprachliche Funktion des „Beschreibens/Darstellens“). Da die Schreibmöglichkeit auf einer Postkarte letztendlich sehr begrenzt ist, liegt die sprachliche Herausforderung für die Schülerinnen und Schüler hier insbesondere darin, sich auf das Wesentliche zu konzentrieren (den Weg zum Ergebnis) und ihren Text so deutlich zu strukturieren, dass Martin ihr Vorgehen verstehen kann.

Das im Folgenden aufgeführte Protokollblatt (Abbildung 6) erfüllt bei dieser Aufgabe eine Doppelfunktion. Erstens stellt es eine inhaltliche Sicherung der Ergebnisse dar, über die berichtet werden soll. Zweitens leistet seine klare Struktur

bereits eine erste inhaltlich-strukturelle Hilfe, an der sich die Schülerinnen und Schüler bei der Beschreibung ihres Vorgehens orientieren können (strukturelles Scaffolding).










	<b>Hauptsache, es schmeckt?</b>						
<b><u>Wir führen einen Vitamin-C-Nachweis durch</u></b>							
<b>Frage:</b> Welches der folgenden Lebensmittel enthält die größte Menge Vitamin C?							
							
Kiwi	Möhre	Orange	Paprika	Tomate	Traube		
<b>Hypothese:</b> Vermutlich hat die Orange den höchsten Gehalt an Vitamin C, weil sie zu den Citrusfrüchten gehört. Für die anderen Lebensmittel vermuten wir diese Reihenfolge:							
Hypothese	Lebensmittel	Testergebnis					
		0	+	++			
1.	<i>Orange</i>						
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
<b>Testdurchführung:</b>							
1. Lebensmittel _____.							
2. Teststreifen _____ drücken.							
3. Farbveränderung mit der Farbskala vergleichen.							
4. Testergebnis in das Protokoll eintragen.							
<b>Testergebnis:</b> Unsere Hypothese, dass Orangen den höchsten Gehalt an Vitamin C haben, war <i>falsch / richtig</i> . _____							
_____							
<b>Aufgaben:</b>							
1. Schreibe dem Schiffskoch Martin eine Antwortkarte und beschreibe ihm darauf, wie wir zu unserem Ergebnis gekommen sind.							
2. Informiere dich, zu welchem Zweck ebenfalls Teststäbchen eingesetzt werden.							

Abbildung 6: Arbeitsblatt „Wir führen einen Vitamin-C-Nachweis durch“

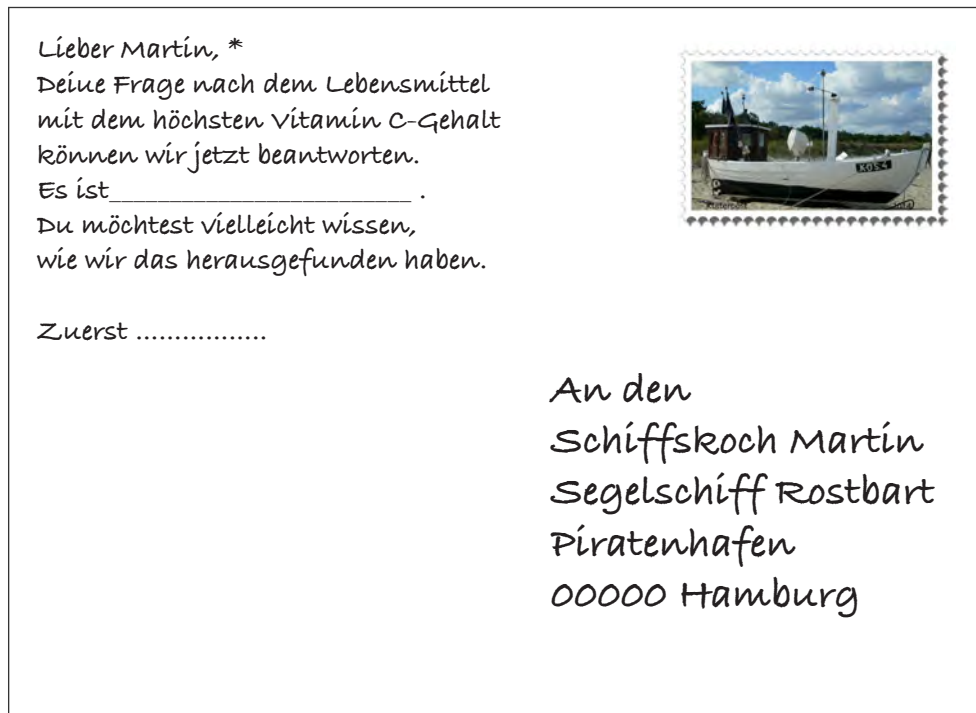


Abbildung 7: Postkarte an den Schiffskoch Martin

### Beispiel 3 (9. Stunde)

In der 9. Stunde geht es inhaltlich darum, bei dem Kauf von Fleisch den Produktionsprozess als Entscheidungskriterium zu beachten.

Zunächst wird das Problem ermittelt, wie die unterschiedlichen Produktionskosten von Hühnerfleisch die differierenden Verkaufspreise bedingen. Nach einem kurzen Lehrervortrag über die Züchtung von Legehennen und Masthühnern erhalten die Lernenden einen Informationstext zu den verschiedenen Stationen eines Masthuhnlebens (beim Züchter, beim Brüter, beim Mäster, beim Schlachter). Mithilfe dieser Informationen erhalten sie die Möglichkeit, zu einer ersten Haltung zu gelangen. Zur Vorbereitung auf den späteren Gruppenarbeitsauftrag erhalten die Lernenden eine Karteikarte, um das Gelesene in Stichpunkten zu strukturieren. Die Lehrperson zeigt in ihrem Vortrag zu Beginn, wie eine solche Karteikarte beispielhaft erstellt werden kann. An diesem Vorbild können sich die Schülerinnen und Schüler in ihrer Vorgehensweise orientieren.

Das folgende Arbeitsblatt (Abbildung 8) zeigt den Gruppenarbeitsauftrag („Beschreibt mit Hilfe eurer Informationen die einzelnen Lebensstationen eines Masthuhns aus dessen Sicht“), durch den die Informationen zu den Stationen eines Masthuhnlebens als Produktionsbedingungen für billiges Hühnerfleisch herausgearbeitet werden (inhaltlicher Fokus).

<b>Hauptsache, es schmeckt?</b>		<b>GAB</b>
<b><u>Das kurze Leben eines Masthuhns</u></b>		
		
<b>Aufgabe:</b> Beschreibt mit Hilfe eurer Informationen die einzelnen Lebensstationen eines Masthuhns aus dessen Sicht.		
<b>Tag 1:</b>	Ich bin gerade geschlüpft; und mit mir zusammen in einer Plastikbox noch _____ andere Küken. Gut, dass ich kein Männchen bin, denn ...	
<b>Tag 4:</b>	Ich bin in eine riesige Halle mit 30.000 anderen Küken gebracht worden. Ich habe mein Gewicht schon verdoppelt, weil ich überhaupt nicht aufhören kann zu fressen. Das liegt daran, dass ...	
<b>Tag 30:</b>	Ich habe jetzt schon das 400fache zugenommen. Weil auch alle anderen so schnell gewachsen sind, können wir uns kaum bewegen. Meine Füße sind schon ganz verätzt, weil ...	
<b>Tag 34:</b>	Heute bin ich wieder weitertransportiert worden. In der neuen Halle sind Fließbänder mit Haken. Ich sehe, dass Tiere vor mir mit den Füßen an diese Haken gehängt werden. Dann ...	

Abbildung 8: Arbeitsblatt „Das kurze Leben eines Masthuhns“

Der sprachliche Fokus liegt zum einen in einer Erweiterung der Lesekompetenz bei der angeleiteten Erstellung der Karteikarte. Bei dem Arbeitsblatt soll es um einen zweiten sprachlichen Fokus gehen, nämlich die Ermöglichung eines kooperativen Schreibprozesses. Aus den unterschiedlichen Sachtexten erstellt die Gruppe gemeinsam einen narrativen Text. Ein Satz – und damit die Erzählperspektive – ist vorgegeben.

Ein Schüler/eine Schülerin macht aus Expertensicht einen Formulierungsvorschlag. Die anderen Gruppenmitglieder erhalten den Auftrag, diesen mithilfe

fe von kriterienorientierten Prüfungen sprachlich zu betrachten und zu bewerten: Ist die Ich-Perspektive durchgehalten und sind möglichst Passivformulierungen gewählt (Syntax-Ebene)? Sind die gewählten Adjektive oder Verben zu drastisch/nicht drastisch genug (Wortebene)? Welche Wirkung auf den Leser wird durch die Wortwahl erzielt? Hier bildet sich also der gesamte Schreibprozess (mit Schreibvorbereitung, Textentwurf und Schreibüberarbeitung) idealerweise ab, ohne dass dieser durch Schreibvorgaben und Schreibnormen kanalisiert wird. Der Lehrperson bleibt es nun überlassen, ob sie die Beobachtungen bei diesem Prozess lediglich diagnostisch nutzt, um daraus weitere Lernanlässe zu planen oder ob sie die Schreibprodukte als Basis einer späteren Meta-Kognition auswertet.

Nach der intensiven inhaltlichen Auseinandersetzung mit der jeweiligen Station in der Vorarbeit erfolgt über den kooperativen Schreibprozess ein affektiver Zugang für einen zu bewertenden Aspekt, der zum Ende der Stunde zu einer eigenständigen Positionierung zum Themenschwerpunkt der Stunde führen soll.

### Erfahrungsbericht, Rückmeldungen oder Einschätzungen

Die entwickelte Reihe „Hauptsache, es schmeckt!“ wurde bisher an drei Gymnasien mehrfach durchgeführt und modifiziert, sodass sie sich immer noch in der Weiterentwicklung befindet. Die durchführenden Kolleginnen und Kollegen beobachteten während des Unterrichtsvorhabens eine hohe Schülermotivation. Darüber hinaus gliederten die Lernenden in den Folgereihen ihre linearen Texte in der Regel in einen einleitenden Teil und einen Hauptteil, der bspw. durch die Verwendung des Präsens und eine unpersönliche Ausdrucksweise gekennzeichnet wurde. Den meisten Schülerinnen und Schülern gelang auch die Verwendung von Adverbien, bspw. in einer Vorgangsbeschreibung. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich um kurze Ausführungen handelt, die teils durch Hilfestellungen unterstützt wurden, da sonst eine sprachliche Umsetzung in einen kurzen Fließtext nur schwer möglich wäre.

Sicher ist, dass diese Materialien für jede Klasse und vor allem auch für den Einsatz in Klassen anderer Schulformen modifiziert werden müssen.

Im Anschluss an diese Reihe sind bereits weitere Reihen entstanden, aus denen sich, wie oben dargestellt, immer wieder eine rückwirkende Modifikation der zurückliegenden Reihen ergab.

Dabei hat sich die Arbeit mit dem Planungs- und Entwicklungsraster weiterhin als sehr hilfreich und übersichtsstiftend bewährt. Empfehlenswert sind eine ständige Reflexion und eine daraus resultierende rückwirkende Überarbeitung nach jeder Stunde, am Ende der Reihe sowie am Ende des 5. und auch am Ende des 6. Jahrgangs. Ein Überblick bzw. eine jahrgangs- oder gar orientierungsstufenbezogene Rückschau ohne ein solches Planungs- und Evaluationsraster ist kaum vorstellbar.

### Literatur

- Dirks, M., Engelen S. & Lübeck, M. (2015). Kompetenzorientierter, naturwissenschaftlicher Unterricht am Gymnasium von Anfang an?! In Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), *Impulse für einen kompetenzorientierten naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 6–26). Frechen: Ritterbach.
- Gogolin, I. (2009). Zweisprachigkeit und die Entwicklung bildungssprachlicher Fähigkeiten. In I. Gogolin (Hrsg.), *Streitfall Zweisprachigkeit* (S. 263–280). Wiesbaden: VS.



- Leisen, J. (2008). Lesen ist schon schwer genug, dann auch noch Schreiben? – Gründe und Strategien für das Schreiben(lernen) im Physikunterricht. *Unterricht Physik*, 19 (104), 4–10.
- Leisen, J. (2010). *Das Lehr-Lern-Modell in den naturwissenschaftlichen Fachseminaren. Ein Lehr-Lern-Modell für den kompetenzorientierten Unterricht*. Verfügbar unter <http://www.studienseminar-koblenz.de/medien/lehr-lern-modell/lehr-lern-modell-nawi.pdf> [26.03.2017].
- Maier, H. & Schweiger, F. (1999). *Mathematik und Sprache. Zum Verstehen und Verwenden von Fachsprache im Unterricht*. Wien: oebv und hpt Verlagsgesellschaft.
- Meyer, M. & Prediger, S. (2012). Sprachenvielfalt im Mathematikunterricht – Herausforderungen, Chancen und Förderansätze. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 54 (45), 1–8.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2015). *Referenzrahmen Schulqualität NRW*. Verfügbar unter: [http://www.schulentwicklung.nrw.de/referenzrahmen/upload/download/Referenzrahmen\\_Veroeffentlichung.pdf](http://www.schulentwicklung.nrw.de/referenzrahmen/upload/download/Referenzrahmen_Veroeffentlichung.pdf) [26.03.2017].
- MSWWF = Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (1999). *Förderung in der deutschen Sprache als Aufgabe des Unterrichts in allen Fächern*. Empfehlungen. Frechen: Ritterbach.
- Pertzel, E. & Schütte, A. U. (2016). *Schreiben in Biologie, Geschichte und Mathematik (Klasse 5/6) – Schriftlichkeit im sprachsensiblen Fachunterricht*. Münster: Waxmann.
- Prediger, S. (2013). Darstellungen, Register und mentale Konstruktion von Bedeutungen und Beziehungen. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann & H. J. Vollmer (Hrsg.), *Sprache im Fach – Sprachlichkeit und fachliches Lernen* (S. 167–183). Münster: Waxmann.
- Prediger, S., Parchmann, I., Hammann, M. & Frederking, V. (2016). Unterrichtsqualität braucht Fachlichkeit – Zur Bedeutung fachdidaktischer Grundlagen- und Anwendungsforschung als Bindeglied zwischen Forschung und Praxis. In Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), *Bildungsforschung 2020. Zwischen wissenschaftlicher Exzellenz und gesellschaftlicher Verantwortung* (S. 405–410). Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Pohl, T. & Steinhoff, T. (2010). Textformen als Lernformen. In T. Pohl & T. Steinhoff (Hrsg.), *Textformen als Lernformen* (S. 5–26). Duisburg: Gilles & Francke (KöBeS 7).
- Thürmann, E. (2011). *Deutsch als Schulsprache in allen Fächern. Konzepte zur Förderung bildungssprachlicher Kompetenzen*. Verfügbar unter: <http://www2.schulentwicklung.qualis.de/materialdatenbank/nutzersicht/materialeintrag.php?matId=3827> [23.03.2018].
- Thürmann, E., Pertzel, E. & Schütte, U. (2015). Der schlafende Riese: Versuch eines Weckrufs zum Schreiben im Fachunterricht. In S. Schmölzer-Eibinger & E. Thürmann (Hrsg.), *Schreiben als Medium des Lernens*. Kompetenzentwicklung durch Schreiben im Fachunterricht (S. 17–45). Münster: Waxmann.
- Wilmanns, I., Willems, A. S., Thürmann, E., Platz, U. & Bos, W. (2015). Sprachsensibler Unterricht am Ganztagsgymnasium. Ein Fortbildungskonzept für Lehrkräfte zur Förderung bildungssprachlicher Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern. In H. Wendt & W. Bos (Hrsg.), *Auf dem Weg zum Ganztagsgymnasium. Erste Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung zum Projekt Ganz In* (S. 444–473). Münster: Waxmann.

## Anhang

Tabelle 1: Übersicht über Kompetenzschwerpunkte und Handlungssituationen Start-Reihe

1. Unterrichtsvorhaben: Biologie erforscht das Leben			
Stundenthema	zentrales Anliegen Mit dieser Stunde möchte ich hauptsächlich erreichen, dass die Schülerinnen und Schüler...	Handlungssituation Die Schülerinnen und Schüler erhalten dazu die Gelegenheit, ...	Kompetenz Ich kann ...
1. Stunde: „Was beobachtest du?“ – Übungen zur Beobachtung mit einer Lupe.	... die genaue Beobachtung als eine wichtige biologische Tätigkeit benennen. ... biologische Strukturen genau beobachten und die Handhabung einer Lupe einüben.		
2. Stunde: „Was beobachtest du tatsächlich?“ – Übungen zur Unterscheidung von Beobachtung und Vermutung.	... zwischen Beobachtung und Vermutung unterscheiden. ... eine Vermutung als eine mögliche aber noch nicht bewiesene Erklärung einer Beobachtung bezeichnen.	... einen kurzen Sachtext auf einer Antwortkarte (also in einem definierten Kontext) in der Gruppe laut vorzulesen.	K9 ... einfache Sachtexte flüssig lesen.
3. Stunde: „Wie lassen sich Vermutungen überprüfen?“ – Erarbeitung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges in einem gelenkten GA-Prozess.	... die Arbeitsschritte eines Forschers erläutern.	... einen kurzen Sachtext auf einer Antwortkarte (also in einem definierten Kontext) in der Gruppe laut vorzulesen. ... einem Bild bzw. einem einfachen Sachtext Informationen zu entnehmen, um sich für eine vorgegebene Auswahlantwort zu entscheiden. ... einem Sachtext Informationen zu entnehmen und diese in eine Reihenfolge zu bringen bzw. einem Strukturdiagramm zuzuordnen. ... sich auf zwei vorgegebenen Internetseiten zum Thema „Mimikry“ zu informieren.	K9 ... einfache Sachtexte flüssig lesen.  K10 ... einem Sachtext (auch Bildern und Diagrammen) Informationen entnehmen und diese für die Klärung von Sachverhalten nutzen.  K12 ... Informationen zu einem Thema/Problem in unterschiedlichen Medien suchen, vergleichen und auswählen.
4. / 5. Stunde: „Biologinnen und Biologen messen verschiedene Größen.“ – Übungen zum Messen von Zeit, Länge, Volumen und Masse in einem Stationenbetrieb.	... Messverfahren zur Bestimmung von Zeit, Länge, Volumen und Masse erproben und einüben.	... Messergebnisse in eine vorgegebene Tabelle einzutragen.  ... einen bekannten Informationstext zum Messen verschiedener Größen im Pair-Reading-Verfahren einzuüben.	K6 ... aus Daten und Informationen Tabellen, Säulen-, Kurven- und Strukturdiagramme sowie bildliche Modelle erstellen.  K9 ... einfache Sachtexte flüssig lesen.

<p>6. Stunde: „Wie lange brennt die Kerze?“ – Anwendung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges in einem angeleiteten Experiment.</p>	<p>... die Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges auf ein Beispiel anwenden.</p>	<p>... ein vorstrukturiertes Versuchsprotokoll auszufüllen, indem sie Textteile übernehmen (abschreiben), Nebensätze ergänzen und ein Ergebnis frei formulieren. ... Messwerte in eine Tabelle einzutragen und diese nach Größe zu ordnen.</p>	<p>K5 ... einfache Sachtexte (Beschreibung, Protokoll) unter Verwendung von Schreibhilfen richtig (Rechtschreibung, Grammatik) verfassen.  K6 ... aus Daten und Informationen Tabellen, Säulen-, Kurven- und Strukturdiagramme sowie bildliche Modelle erstellen.</p>
<p>7. Stunde: „Wir stellen Unterschiede fest“ – Sammlung von Daten in Partnerinterviews.</p>	<p>... ihre Sozial- und Kommunikationskompetenz durch Kontaktaufnahme zu Mitschülerinnen und Mitschülern stärken.</p>	<p>... persönliche Angaben bzgl. Körpermerkmalen und Vorlieben ihrer Mitschülerinnen und Mitschüler als Daten in einer Tabelle zu protokollieren.</p>	<p>K6 ... aus Daten und Informationen Tabellen, Säulen-, Kurven- und Strukturdiagramme sowie bildliche Modelle erstellen.</p>
<p>8. Stunde: „Wir ordnen Daten und stellen sie anschaulich dar“ – Umsetzen von Daten in Strichlisten und Häufigkeitstabellen sowie Erstellen eines Säulendiagramms.</p>	<p>... Daten in einem Säulendiagramm darstellen.</p>	<p>... für eine geringe Anzahl von Daten eine Strichliste zu erstellen. ... angeleitet ein Säulendiagramm mit 4 Säulen zu zeichnen und dabei auf die Skaleneinteilung und -beschriftung zu achten.  ... die in einem einfachen Säulendiagramm aufgetragenen Werte abzulesen.</p>	<p>K6 ... aus Daten und Informationen Tabellen, Säulen-, Kurven- und Strukturdiagramme sowie bildliche Modelle erstellen.  K11 ... einem Sachtext (auch Bildern und Diagrammen) Informationen entnehmen und diese für die Klärung von Sachverhalten nutzen.</p>
<p>9. Stunde: „Wir arbeiten mit Säulendiagrammen“ – Übungen zum Erstellen und Ablesen von Säulendiagrammen.</p>	<p>... Daten in einem Säulendiagramm darstellen und einem Säulendiagramm Informationen entnehmen.</p>	<p>... aus vorgegebenen Daten eigenständig ein Diagramm mit drei Säulen zu zeichnen.  ... aus vorgegebenen Säulendiagrammen Daten in ansteigender Komplexität abzulesen.</p>	<p>K6 ... aus Daten und Informationen Tabellen, Säulen-, Kurven- und Strukturdiagramme sowie bildliche Modelle erstellen.  K11 ... einem Sachtext (auch Bildern und Diagrammen) Informationen entnehmen und diese für die Klärung von Sachverhalten nutzen.</p>
<p>10. Stunde: „Wir machen Zellen sichtbar.“ – Übung zum Umgang mit dem Mikroskop durch das angeleitete Mikroskopieren von Epidermiszellen der Zwiebelhaut.</p>	<p>... den Umgang mit einem Lichtmikroskop üben und ... die Zelle mit ihren Bestandteilen Zellkern, Zellhaut und Zellplasma als Baustein aller Lebewesen beschreiben.</p>	<p>... einem Sachtext Informationen über drei Zellbestandteile zu entnehmen.  ... eigenständig eng begrenzte Fragen zu diesen Informationen in ganzen Sätzen zu beantworten.</p>	<p>K11 ... einem Sachtext (auch Bildern und Diagrammen) Informationen entnehmen und diese für die Klärung von Sachverhalten nutzen.  K5 ... einfache Sachtexte (Beschreibung, Protokoll) unter Verwendung von Schreibhilfen richtig (Rechtschreibung, Grammatik) verfassen.</p>

<p>11. Stunde: „Was ist aus unseren Mehlwürmern geworden?“ – Auswertung der Langzeitbeobachtung zur Entwicklung des Mehlkäfers.</p>	<p>... die Entwicklung eines Insekts mit vollkommener Verwandlung beschreiben.</p>	<p>... einem Text die Benennung der Entwicklungsstadien zu entnehmen.</p> <p>... die Fachbegriffe auf eine andere Darstellung (Schmetterling) zu übertragen.</p> <p>... die Käferentwicklung mit Hilfe einer Wortliste und vorgegebenen Konnektoren in einem zusammenhängenden Text zu beschreiben.</p> <p>... unter Verwendung des Textes zur Käferentwicklung bildgestützt einen Vortrag zur Entwicklung eines Schmetterlings zu halten.</p>	<p>K11 ... einem Sachtext (auch Bildern und Diagrammen) Informationen entnehmen und diese für die Klärung von Sachverhalten nutzen.</p> <p>K5 ... einfache Sachtexte (Beschreibung, Protokoll) unter Verwendung von Schreibhilfen richtig (Rechtschreibung, Grammatik) verfassen.</p> <p>K1 ... zu einem begrenzten Sachthema stichwortgestützt Ergebnisse verständlich vortragen.</p> <p>K8 ... eine geordnete und strukturierte (Blattaufteilung, Rand, Absätze, Lesbarkeit) Unterrichtsmitschrift anfertigen.</p>
---	--	--	--

Tabelle 2: Kompetenzraster „Kommunikation“ für die Unterrichtsreihe „Hauptsache, es schmeckt“

2. Unterrichtsvorhaben: Hauptsache, es schmeckt			
Stundenthema	zentrales Anliegen Mit dieser Stunde möchte ich hauptsächlich erreichen, dass die Schülerinnen und Schüler...	Handlungssituation Die SchülerInnen erhalten dazu die Gelegenheit, ...	Kompetenz Ich kann ...
<p>1. Stunde: „Iss, damit du groß und stark wirst“ – Erarbeitung des Unterschieds von Bau- und Brennstoffen.</p>	<p>... die Bedeutung von Bau- und Brennstoffen für Lebewesen erläutern.</p>	<p>... einen vorgegebenen Text zur Bedeutung von Bau- und Brennstoffen bei Maschinen so umzuformulieren, dass er auf die Situation bei Lebewesen passt.</p>	<p>K 5 ... einfache Sachtexte (Beschreibung, Protokoll) unter Verwendung von Schreibhilfen richtig (Rechtschreibung, Grammatik) verfassen.</p>
<p>3. Stunde: „Wie viel wovon?“ – Erarbeitung der Ernährungsregeln, die durch die Portionsgrößen der Ernährungspyramide symbolisiert werden.</p>	<p>... die Ernährungspyramide zur Bewertung des Essverhaltens nutzen.</p>	<p>... aus den Angaben eines persönlichen Essprotokolls eine Ernährungspyramide zu zeichnen.</p>	<p>K 6 ... aus Daten und Informationen Tabellen, Säulen-, Kurven- und Strukturdiagramme sowie bildliche Modelle erstellen.</p>
<p>4. / 5. Stunde: „Zu viel gegessen?“ – Bewertung der Energiezufuhr im Vergleich zum Energieumsatz.</p>	<p>... den Energieumsatz unter dem Gesichtspunkt einer angepassten Energiezufuhr bewerten.</p>	<p>... aus einem Text Elemente des Energieumsatzes in ein Energieschema einzutragen und ... dieses Schema aufgrund veränderter Prämissen zeichnerisch umzugestalten.</p>	<p>K 6 ... aus Daten und Informationen Tabellen, Säulen-, Kurven- und Strukturdiagramme sowie bildliche Modelle erstellen.</p>
<p>6. Stunde: „In welchem Nahrungsmittel ist am meisten Vitamin C?“ – Anwendung und Übung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges anhand einer (semi-)quantitativen Untersuchung zum Vitamin-C-Gehalt ausgewählter Lebensmittel.</p>	<p>... ein vorgegebenes experimentelles Vorgehen begründen.</p>	<p>... in einem Versuchprotokoll Handlungsanweisungen als Imperativsätze frei zu formulieren. ... einen durchgeführten Versuchsablauf so zu beschreiben, dass die zeitliche Abfolge durch entsprechende Konnektoren deutlich wird.</p>	<p>K 5 ... einfache Sachtexte (Beschreibung, Protokoll) unter Verwendung von Schreibhilfen richtig (Rechtschreibung, Grammatik) verfassen.</p>

<p>8. Stunde:  <i>„Augen auf beim Gemüsekauf!“</i> – Bewertung von Nahrungsmitteln auf der Grundlage der Produktionsbedingungen sowie der Produktqualität.</p>	<p>... beim Kauf von Nahrungsmitteln den Produktionsprozess als Entscheidungskriterium beachten.</p>	<p>... in einem freien Text Gründe für eine Kaufentscheidung zu benennen.</p>	<p>K 7          ... eine eigene Meinung formulieren und hierfür Argumente anführen.</p>
<p>9. Stunde:  <i>„Das kurze Leben eines Masthuhns.“</i> – Erarbeitung der Bedingungen von billiger Fleischproduktion am Beispiel von Hühnerfleisch.</p>	<p>... beim Kauf von Fleisch den Produktionsprozess als Entscheidungskriterium beachten.</p>	<p>... aus Stichwörtern eines Sachtextes einen Erlebnisbericht zu formulieren.</p> <p>... im Vergleich mit vorgegebenen Gründen für und gegen Fleischkonsum einen eigenen Standpunkt zu formulieren.</p>	<p>K 5          ... einfache Sachtexte (Beschreibung, Protokoll) unter Verwendung von Schreibhilfen richtig (Rechtschreibung, Grammatik) verfassen.</p> <p>K 7          ... eine eigene Meinung formulieren und hierfür Argumente anführen.</p>
<p>12. Stunde:  <i>„Was geschieht bei der Verdauung?“</i> – Erarbeitung der Verdauungsvorgänge auf molekularer Ebene.</p>	<p>... die Vorgänge bei der Verdauung auf molekularer Ebene beschreiben.</p>	<p>... nach dem Vorbild eines Lipase-Modells ein Modell für ein Zucker- bzw. Eiweißspaltendes Enzym zu zeichnen.</p>	<p>K 6          ... aus Daten und Informationen Tabellen, Säulen-, Kurven- und Strukturdiagramme sowie bildliche Modelle erstellen.</p>



Dagmar Friedrichs und Isabel Edeler

## Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht

### Eine Unterrichtsreihe zur Entwicklung des Biomembran-Modells im historischen Erkenntnisweg

Der Kernlehrplan Biologie für die gymnasiale Oberstufe in Nordrhein-Westfalen (2014) macht den Erwerb von Kompetenzen zur biologischen Erkenntnisgewinnung zum Ziel des Unterrichts und führt damit einen wichtigen Bereich der Kompetenzentwicklung in der Sekundarstufe I fort. Ein grundlegender Aspekt der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften ist die Entwicklung von belastbaren Modellen, mit denen Sachverhalte erklärt und Ereignisse vorhergesagt werden können. Damit sich diesbezügliche Kompetenzen entwickeln können, muss der Umgang mit Modellen explizit thematisiert werden.

Mit der vorgestellten Unterrichtsreihe können Schülerinnen und Schüler weitgehend selbstständig den Weg der Erkenntnis über den Aufbau und die Funktion der Biomembran nachvollziehen. Indem sie das Wechselspiel zwischen Modellen und ihrer Überprüfung verfolgen, können sie die Vorläufigkeit biologischer Modelle und ihre Grenzen begreifen und erklären. Auf diese Weise sollen neben dem Umgang mit Fachwissen vor allem Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung sowie ein systematisches und bewusstes konzeptuelles Verständnis des hypothetisch-deduktiven Erkenntniswegs gezielt gefordert und gefördert werden. Feedback zu Lernergebnissen erfolgt über einen Selbstevaluationsbogen zur Diagnose und Überprüfung der angestrebten Kompetenzen.

## 1. Projektbeschreibung und Zielsetzung

### Motivation für das Projekt

Die Kernlehrpläne für die Sekundarstufe II an Gymnasien und Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen stellen den Kompetenzerwerb in den Naturwissenschaften in Form der vier Kompetenzbereiche *Umgang mit Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* dar. Der Bereich Erkenntnisgewinnung umfasst grundlegende naturwissenschaftliche Methodenkompetenz, wie z.B. das Experimentieren oder die Anwendung bzw. Reflexion von Modellen. Nun hat man schon immer im Biologieunterricht experimentiert oder Modelle verwendet, daher gilt es, sich die Neuerungen im Rahmen der Erkenntnisgewinnung zu verdeutlichen. Kompetenzen sind kein Lernstoff, sie beschreiben vielmehr das Wissen und Können von Schülerinnen und Schülern. Ziel muss deshalb sein, dass die Lernenden fachliche Methoden anwenden können, um selbstständig biologische Erkenntnisse zu gewinnen. Dafür reicht es nicht, lediglich Ergebnisse von abgeschlossenen Erkenntnisprozessen zur Kenntnis zu nehmen. Es muss explizit

**vier Kompetenzbereiche**

für jeden inhaltlichen Schwerpunkt überlegt werden, wie Unterrichtssituationen den Schülerinnen und Schülern eine selbstständige Erkenntnis ermöglichen. Nur Experimente nach Vorgaben durchzuführen bzw. nur etablierte Modelle zu analysieren, würde diesen Anspruch verfehlen.

#### Ländervergleich

In welchem Umfang *Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung* in den Naturwissenschaften auf der Grundlage der Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss bei den Schülerinnen und Schülern erreicht werden, wurde im Jahre 2012 durch den sogenannten Ländervergleich des Instituts für Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB) erhoben. Betrachtet man die Ergebnisse der Studie (Pant et al., 2013), lassen sich für Nordrhein-Westfalen optimierbare Ausgangslagen bei der Erkenntnisgewinnung bei Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 9 vor Eintritt in die Sekundarstufe II feststellen:

#### Befundmuster

Für das Fach Biologie ergibt sich in Nordrhein-Westfalen folgendes Befundmuster (siehe Tabelle 1): Fast 11 % der zielgleich unterrichteten Neuntklässlerinnen und Neuntklässler, die mindestens einen mittleren Schulabschluss anstreben, verfehlen im Fach Biologie im Bereich *Erkenntnisgewinnung* den Mindeststandard der Kultusministerkonferenz (KMK) für den mittleren Schulabschluss. Den KMK-Regelstandard erreichen oder übertreffen (Kompetenzstufe III oder höher) fast 53 % der Schülerinnen und Schüler. Herausragende Leistungen auf der höchsten Kompetenzstufe (Optimalstandard) erreichen knapp 1 % der Neuntklässlerinnen und Neuntklässler Nordrhein-Westfalens, die mindestens einen mittleren Schulabschluss anstreben.

#### Regelstandard

Die Leistungen der Schülerinnen und Schüler an Gymnasien unterscheiden sich deutlich von denen an anderen Schulformen, die zum MSA führen (siehe Tabelle 1). Besonders auf der Kompetenzstufe IV, einem gehobenen Regelstandard, werden die Unterschiede gravierend: Es erreichen am Gymnasium 25,3 % der Lernenden diese Stufe, an sonstigen Schulen mit MSA-Abschluss hingegen nur 2,4 %. Aber auch am Gymnasium erreichen lediglich 1,3 % die Stufe V, also den Optimalstandard. Der gymnasiale Vergleich mit den Ergebnissen der anderen Naturwissenschaften (Chemie 19,3 % und Physik 17,1 %) macht deutlich, dass im Fach Biologie Handlungsbedarf besteht.

Tabelle 1: Kompetenzstufenverteilung der Erkenntnisgewinnung im Fach Biologie in Nordrhein-Westfalen bei Schülerinnen und Schülern der 9. Jahrgangsstufe, die mindestens den mittleren Schulabschluss anstreben, nach Kompetenzbereich (prozentuale Angaben) (Pant et al., 2013).

	Kompetenzstufen				
	I	II	III	IV	V
Gymnasium	1,2	17,8	54,4	25,3	1,3
Sonstige MSA	17,8	50,9	28,8	2,4	0,0
Gesamt MSA	10,7	36,7	39,8	12,3	0,6

Anmerkungen: MSA= Mittlerer Schulabschluss; Kompetenzstufen: II = Mindeststandard, III = Regelstandard, IV = Regelstandard plus; V = Optimalstandard

Entsprechend gegensteuernde Maßnahmen sollten also bereits von Anfang an im Biologieunterricht der Sekundarstufe I ansetzen. Anregungen dazu finden sich in einer anderen SINUS-Publikation (Dirks, Engelen & Lübeck, 2015). Wie Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe II ihre Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung weiterentwickeln und fundieren können, ist Gegenstand dieses Beitrags.



Wir haben uns mit unserem *fachlichen Schwerpunkt* explizit ein Unterrichtsthema der Einführungsphase ausgesucht, um den durch unsere Unterrichtsreihe erlangten Kompetenzerwerb als Grundlage für die später folgende abiturrelevante Qualifikationsphase zu legen und dort den Kompetenzerwerb dann zu vertiefen. So haben wir für das Inhaltsfeld 1 *Biologie der Zelle* im Rahmen des Kontexts *Erforschung der Biomembran* eine Unterrichtsreihe konzipiert, die den Herausforderungen des kompetenzorientierten Lehrplans gerecht werden soll. Im Unterschied zu einer mehr oder weniger rein inhaltlichen Behandlung der Biomembranmodelle im Unterricht liegt hier der Fokus auf dem wissenschaftlichen Erkenntnisweg bei der Entwicklung der Modelle.

Um einen möglichst selbstständigen Kompetenzerwerb durch die Schülerinnen und Schüler zu ermöglichen, sind jedoch nicht nur Veränderungen der Vorgehensweise in den Erarbeitungsphasen erforderlich, sondern auch die Schaffung von Selbstevaluationsphasen als gezieltem Diagnoseinstrument für die Schülerinnen und Schüler selbst. Betrachtet man herkömmliche Unterrichtsverläufe, so werden die Prozesse der Leistungsbeobachtung und -bewertung vornehmlich durch Fremdeinschätzung der Lehrkraft vorgenommen. Jedoch sind durch die Fremdeinschätzung der Stand und mögliche Probleme der Kompetenzentwicklung nur schwer vollständig zu erfassen und für die Schülerinnen und Schüler selbst kaum bewusst wahrnehmbar. Eine Ergänzung in Form der Selbsteinschätzung der Schülerinnen und Schüler ist unserer Meinung nach erforderlich, um zu einer vollständigeren Einsicht in den individuellen Lernstand zu gelangen. Die normbezogenen Verfahren, wie Klassenarbeiten und Tests, dienen in erster Linie der Lehrkraft zur Benotung des Leistungsstands, sie ermöglichen es den Lernenden jedoch nicht immer, eine fundierte Selbsteinschätzung ihrer Kenntnisse vorzunehmen. Daraus resultiert zum einen, dass den Schülerinnen und Schülern bislang die Transparenz über die jeweils zu erreichenden Leistungsanforderungen und ein Abgleich mit den erreichten Kompetenzen fehlt, und zum anderen, dass der Selbsteinschätzung eine bedeutende Rolle im Prozess der Leistungsrückmeldung zukommt. Im Rahmen eines angestrebten selbstständigen kompetenzorientierten Lernens ist es folglich unerlässlich, dass Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Lernzuwächse überprüfen und reflektieren können. Die Selbstevaluation der Lernprozesse und ihrer Ergebnisse ist damit für uns ein unverzichtbarer Bestandteil der Lernkompetenzentwicklung und sollte im Unterricht fest etabliert werden.

Einführungsphase

Selbstevaluationsphasen

### **Zielsetzung: Entwicklung des Verständnisses biologischer Denk- und Arbeitsweisen (Nature of Science)**

Mit der vorliegenden Unterrichtsreihe visieren wir eine Förderung und Vertiefung der Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung, speziell der Modellbildung, an. Bisherige Ansätze, die auch in Schulbüchern vorherrschend sind, haben zwar einen sachlich informierenden Charakter, bieten jedoch – ohne enormen Aufwand durch die Lehrperson – wenig Spielraum für einen sukzessiven Kompetenzerwerb und einen nachhaltigen Wissensaufbau im Bereich der Erkenntnisgewinnung.

Wir bieten hier eine Unterrichtsreihe an, die genau dieser Diskrepanz entgegenwirken soll und somit eine umfassende Berücksichtigung folgender Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans ermöglicht:

Kompetenzerwartungen

- Konkretisierte Kompetenzerwartung im Inhaltsfeld *Biologie der Zelle*: Schülerinnen und Schüler stellen den wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs zum Aufbau von Biomembranen durch technischen Fortschritt an Beispielen dar und zeigen daran die Veränderlichkeit von Modellen auf.
- Übergeordnete Kompetenzerwartung (Erkenntnisgewinnung): Die Schülerinnen und Schüler können ...
  - Modelle zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage biologischer Vorgänge begründet auswählen und deren Grenzen und Gültigkeitsbereiche angeben (E6).
  - an ausgewählten Beispielen die Bedeutung, aber auch die Vorläufigkeit biologischer Modelle und Theorien beschreiben (E7).

Im Sinne des übergreifenden Bildungsziels einer vertieften biologisch-naturwissenschaftlichen Bildung (KLP Sek. II Biologie, MSW, 2014, S. 17f.; Bovet & Huwendiek, 2011, S. 24–27) – Scientific Literacy – sind hier das Verständnis und der Umgang mit Modellen im Erkenntnisprozess von zentraler Bedeutung, denn „alle Erkenntnis ist Erkenntnis in Modellen oder durch Modelle“ (Zitat nach Stochowiak (1973), in Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 24).

*„Modellkompetenz umfasst die Fähigkeiten, mit Modellen zweckbezogen Erkenntnisse gewinnen zu können und über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck urteilen zu können, die Fähigkeiten, über den Prozess der Erkenntnisgewinnung durch Modelle und Modellierungen in der Biologie zu reflektieren sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten in problemhaltigen Situationen anzuwenden.“*  
(Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 49)

**Modellkompetenz** Für die Förderung dieser Modellkompetenz bietet sich die Erforschung der Biomembran in besonderem Maße an, weil im historischen Entwicklungsprozess Modelle für die Erkenntnisgewinnung genutzt wurden und aufgrund technischer Fortschritte bestehende Modelle verworfen werden mussten. Indem die Erforschung schrittweise nachvollzogen wird, kann ein sukzessiver und nachhaltiger Aufbau der Modellkompetenz erreicht werden, die den Schwerpunkt des Unterrichtsvorhabens darstellt.

**authentische Probleme**

Dadurch ist die Wahl des historisch-genetischen Ansatzes begründet. Dieses Vorgehen bietet darüber hinaus einen besonderen Kontext, in dem über die realen Situationen mit authentischen Problemen eine erhöhte Relevanz für die Schülerinnen und Schüler (vgl. KLP Sek. II Biologie, MSW, 2014, S. 12f.) und eine damit verbundene erhöhte Motivationsgrundlage zu erwarten sind. Außerdem wird der Einsatz historischer Ansätze in der fachdidaktischen Diskussion vermehrt gefordert, weil die wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen in Verbindung mit fachlichen Inhalten in besonderem Maße reflektiert werden können (vgl. Upmeier zu Belzen, 2013, S. 328). Gerade diese Kompetenzen sind für die aktive Teilhabe an einer wissenschaftlich geprägten Gesellschaft von hoher Relevanz (vgl. KLP Sek. II Biologie, MSW, 2014, S. 11) und werden in diesem Zusammenhang von den Bildungszielen der naturwissenschaftlichen Lehrpläne explizit gefordert. Von zentraler Bedeutung ist hierbei ein hoher Grad an Selbstständigkeit bei der Erarbeitung, um ein Fundament für nachhaltige Lernprozesse anzulegen (vgl. Bovet & Huwendiek, 2011, S. 246, 307f.).

**Modelle**

Im Forschungsprozess werden zunächst hypothetische Modelle zur Erklärung beobachteter realer Phänomene entwickelt, die Voraussagen über weitere beobachtbare oder messbare Details dieser Phänomene erlauben. Stimmen diese Voraussagen mit den tatsächlich gewonnenen experimentellen Daten oder wei-

teren Beobachtungen überein, so können das Modell und seine zugrunde liegenden Hypothesen bestätigt werden. Im Falle einer Nichtübereinstimmung muss das Modell verändert bzw. verworfen werden (vgl. Abbildung 1). Bestätigte Modelle werden kritisch auf mögliche Grenzen überprüft. Ggf. werden weiterführende Fragestellungen abgeleitet und Hypothesen aufgestellt.

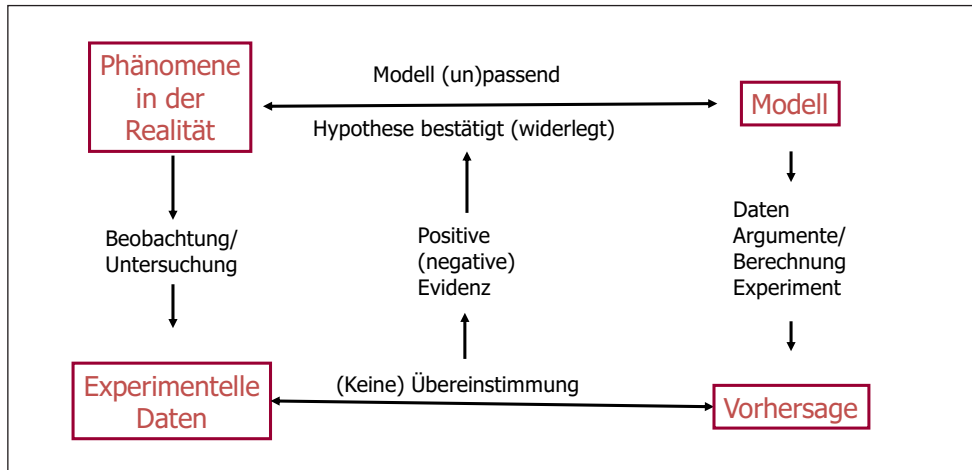


Abbildung 1: Verständnis naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen (in Anlehnung an: Giere, Bickle & Mauldin (2006), S. 29)

Dieser Prozess wird im Unterrichtsvorhaben exemplarisch am Erkenntnisweg zum Aufbau der Biomembran nachvollzogen:

1925	Gorter und Grendel	Erforschung der Anordnung der Lipidmoleküle (zuvor nachgewiesen) in der Biomembran: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Biomembran als Lipiddoppelschicht aus Phospholipiden und geringerer Mengen an Sterolen und Glykolipiden, die später entdeckt wurden</li> <li>– Aufgrund der elektrostatischen Wechselwirkungen sind die hydrophilen Köpfe zum wässrigen Milieu und die hydrophoben Fettsäureschwänze zueinander angeordnet.</li> <li>– Barrierefunktion</li> <li>– Offene Frage: Wie können Ionen und größere polare Moleküle durch die Biomembran gelangen?</li> </ul>
1935	Davson und Danielli	Protein-Sandwich-Modell: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Proteine, die in der Biomembran nachgewiesen worden waren, sind außen an die Lipidschicht angelagert.</li> <li>– Annahme: Proteine besitzen nur hydrophile Seitenreste.</li> <li>– Offene Frage weiterhin: Wie können Ionen und größere polare Moleküle durch die Biomembran gelangen?</li> </ul>
1972	Singer und Nicolson	Nachweis von Proteinen mit hydrophoben Seitenresten führt zur Entwicklung des Flüssig-Mosaik-Modells: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Frage zum Transport von Ionen und größeren Molekülen kann nun beantwortet werden (siehe unten).</li> <li>– Mit Ergänzungen ist es das noch immer gültige Membranmodell.</li> </ul>

Der Transport von Ionen und großen polaren Molekülen durch die Membran sowie die meisten anderen Membranfunktionen werden durch Proteine ermöglicht, die in die Lipidschicht eingelagert sind (sogenannte integrale Membranproteine wie Transmembranproteine, monolayer-verknüpfte oder lipidgebundene Proteine) oder mit anderen Membranproteinen assoziiert sind (sogenannte periphere Membranproteine). Die integralen Membranproteine weisen folglich hydrophobe Seitenreste auf, periphere hingegen nicht. Sie fungieren als

**Membranfunktionen**

Transportproteine, Enzyme, Rezeptoren oder Ankerproteine, was später gezeigt werden konnte. Die Zusammensetzung und Art der Proteine variiert stark je nach Zell- oder Organellfunktion, wodurch die lebenswichtige Arbeitsteilung und Zellspezialisierung zustande kommen kann. Die Proteine sind in bestimmten Bereichen in der fluiden Lipidschicht frei beweglich, wodurch der Name des Membranmodells erklärt ist. Diese Hypothese konnte durch Experimente von Frye und Edidin in den 1970er Jahren mit Fluoreszenzmarkern bestätigt werden. Die Zusammensetzung der Lipidlayer ist asymmetrisch bezüglich der Arten der Phospholipidmoleküle (z. B. Phosphatidylcholin oder Sphingomyelin; Kurzkettige oder Langkettige; Ungesättigte oder Gesättigte), was ebenfalls später nachgewiesen werden konnte. Die Plasmamembran eukaryotischer Zellen weist zudem auf der extrazellulären Seite eine Glycocalyx auf. Sie setzt sich aus verschiedensten Saccharidketten, die entweder kovalent an Lipide oder Proteine gebunden sind, zusammen. Die Plasmamembran schützt die Zelle und spielt eine entscheidende Rolle bei der Zell-Zell-Erkennung. „Ohne die Biomembran gäbe es keine Zellen und somit kein Leben“ (Alberts et al., 2005, S. 387), da alle physiologischen Prozesse indirekt oder direkt mit Strukturen der Biomembran in Verbindung stehen und die Biomembran als die Begrenzung der Zelle eine Schutz- und Barrierefunktion ausübt (vgl. ebd., S. 387–409).

### Zielsetzung: Bewusstmachen der eigenen Kompetenzentwicklung

#### Selbstevaluationsbogen

Als Diagnoseinstrument setzen wir einen Selbstevaluationsbogen ein, den die Schülerinnen und Schüler sowohl am Anfang als auch am Ende der Unterrichtssequenz erhalten und bearbeiten. Diese Selbstevaluation erfolgt über Aussagen zur Selbsteinschätzung, die der Reflexion der eigenen Stärken und Kompetenzen sowie des Arbeitsverhaltens dienen. Zur Einschätzung werden verschiedene Antwortoptionen vorgegeben. Diese relativ einfache Reflexionsform kann adaptiert in jedem beliebigen Unterricht, auch fachübergreifend, eingesetzt werden. Um den Schülerinnen und Schülern ihre persönlichen Lernerfolge zu verdeutlichen und ein erhöhtes Verantwortungsbewusstsein zu generieren, sind die Kompetenzen in „Ich-kann-Sätzen“ formuliert. Neben dem motivierenden Lernerlebnis, welches durch die Verwendung dieser Formulierung entsteht, werden die Kompetenzbeschreibungen schülergerecht umformuliert. Im Gegensatz zu den im Kernlehrplan formulierten Kompetenzen sind diese sogenannten „Ich-Kompetenzen“ oft auf konkrete, kleine Lernschritte reduziert und umfassen in einigen Fällen auch nur einen Teilbereich einer curricularen Kompetenz.

#### Lernerlebnis

Besonders wichtig ist der Hinweis an die Schülerinnen und Schüler, dass das Ausfüllen des Bogens bewertungsfrei bleibt. Dadurch kann garantiert werden, dass sie ohne äußeren Bewertungsdruck ihre persönliche Lernprogression durch ehrliche Antworten nachvollziehen können. Folglich favorisieren wir es, dass der Bogen wiederholend nach jeder Einheit ausgefüllt wird, um den sukzessiven Lernerfolg für die Schülerinnen und Schüler zu visualisieren. Dies erhöht auch die Motivation, sich vertiefend mit Themen auseinanderzusetzen. Die kritische Selbstreflexion des eigenen Könnens ist eine Grundlage erfolgreichen und anschlussfähigen Lernens. Sie wird so geschult und kann fächerübergreifend genutzt werden.

#### Lernerfolg

## 2. Dokumentation des Reihenkonzepts und exemplarischer Materialien

In der vorgestellten Reihenplanung zur Entwicklung des Biomembran-Modells im historischen Erkenntnisweg sind sieben Stunden ausgearbeitet, die in Doppel- bzw. Einzelstunden zu thematischen Einheiten gruppiert werden.

Die Unterrichtsreihe wurde bislang in sechs verschiedenen Lerngruppen an unterschiedlichen Schulen und Standorten von vier Kolleginnen durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erfahrungen wurden in der aktuellen Version der Materialien berücksichtigt. Die Reihenplanung und alle zugehörigen Materialien können auf den SINUS-Seiten des Projekts heruntergeladen werden.<sup>1</sup>

### Überblick über die Unterrichtsreihe

Zu Beginn der Unterrichtsreihe wird den Schülerinnen und Schülern der Selbstevaluationsbogen ausgeteilt. Auf diese Weise wird Transparenz geschaffen, nicht nur hinsichtlich des individuellen Lernstands, sondern auch der Inhalte und der zu erreichenden Kompetenzen (Abbildung 3).

In der ersten Unterrichtseinheit werden der Aufbau und die Funktion der Biomembran behandelt und grundlegendes Wissen um Modellarbeit vermittelt. In der nächsten Unterrichtseinheit, die idealerweise als Doppelstunde gehalten werden sollte, erarbeiten die Schülerinnen und Schüler den historischen Weg der Entwicklung des Biomembran-Modells. Die Erarbeitung erfolgt hierbei anhand von Karten, die jeweils Informationen zu einem Modell der historischen Entwicklung enthalten. Die nächste Einheit ist eine optionale Reflexions- und Rekapitulationsstunde, die die Festigung der neu erworbenen Kompetenzen in den verschiedenen Kompetenzbereichen zum Ziel hat. In der abschließenden Einheit werden die Transportvorgänge an der Biomembran in Form einer eigenständigen Modellentwicklung thematisiert. Eine mögliche weitere Reihenstunde, die hier nicht aufgeführt wird, kann der Evaluation der Reihe, möglichen Vertiefungen und der Klärung offener Fragen vor einer etwaigen Lernüberprüfung dienen.

In der Übersicht (Abbildung 2) ist der geplante Weg zum sukzessiven Kompetenzerwerb in der Unterrichtsreihe dargestellt. Sowohl im Bereich des Fachwissens als auch im Bereich des Umgangs mit Modellen (Erkenntnisgewinnung) werden die Fähigkeiten und Fertigkeiten von Stunde zu Stunde kumulativ vertieft und erweitert.

**Unterrichts-  
einheiten**

<sup>1</sup> [www.sinus.nrw.de](http://www.sinus.nrw.de)

<b>Modelle und die Biomembran</b> sukzessiver Kompetenzerwerb	
<b>Unterrichtseinheit</b>	<b>Thema/Unterrichtsvorhaben grob skizziert</b>
1./2. Stunde	Was sind Modelle? – Wissen über Modelle und Anwendung an einem Text zu Aufbau und Funktion der Biomembran; Einführung Selbstevaluation <b>Theoretische Modelle vs. Modelle zur Anschauung</b>
3./4. Stunde	Forschung nachvollziehen! – Die Erforschung der Biomembran und die Rolle der Modelle im wissenschaftlichen Erkenntnisweg <b>Modelle als Hypothese und Darstellung der Erkenntnis</b>
5. Stunde	Modelle überdenken! – Bewertung selbst angefertigter Modelle zur Biomembran und Vertiefung der Funktion von Modellen in der Biologie <b>Anfertigung eines Modells zu bekanntem Thema: Rekapitulation der Funktion von Modellen im Erkenntnisweg; Modellkritik</b>
6./7. Stunde	Modell angewandt! – Anfertigung und Evaluation eigener Modelle zum Membrantransport; Auswertung Selbstevaluation <b>Anfertigung eines Modells zu einem neuen Thema, Modellkritik</b>

Abbildung 2: Überblick über die Unterrichtsreihe: Modelle und die Biomembran

**Vorwissen**

Als *Vorwissen* zu dieser Reihe wird Folgendes vorausgesetzt:

- Makromoleküle: Lipide, Kohlenhydrate, Proteine
- Kompartimentierung  
(abgegrenzte Bereiche mit unterschiedlichen Funktionen wie z. B. Mitochondrien)
- Grundlagen zum wissenschaftlichen hypothetisch-deduktiven Erkenntnisweg  
(Phänomen → Fragestellung → Hypothesenbildung → Durchführung des Experiments/der Beobachtung → Auswertung und Interpretation → Schlussfolgerung mit Rückbezug auf Hypothesen)
- Bedeutung von Funktions- und Strukturmodellen
- Methoden: Kurzvorträge

**Die Unterrichtsreihe im Detail mit exemplarischen Materialien**

In diesem Kapitel werden die einzelnen Stunden im Detail vorgestellt und Erläuterungen zur Durchführung gegeben. Allgemein gelten folgende Abkürzungen:

EA = Einzelarbeit; PA = Partnerarbeit; GA = Gruppenarbeit; SV = Schüler-vortrag; TPS = Think (EA) – Pair (PA) – Share (Plenum), PP = Präsentationsprogramm, AB = Arbeitsblatt, exemplarische Materialien

## Reihenstunde 1 und 2: Aufbau und Funktion der Biomembran

Phase Sozialform Medium	Inhalt
<i>Einstieg</i> Plenum evtl. PP mit Bildern	„Alle Zellen werden von einer Membran umhüllt, die das Innere der Zelle von der Umgebung trennt. In lebenden Zellen werden sie als Biomembran bezeichnet.“ Sammlung im Plenum (TPS): „Welche Funktionen muss eine solche Biomembran erfüllen?“
Überleitung Plenum	„Wie sind die Funktionen der Biomembran möglich?“ Aufbau → Zusammensetzung Zelle (siehe Bild PP), Bild beschreiben lassen; „Membranbestandteile sind geklärt, aber wie sind sie angeordnet? Das ist unser Thema.“
<i>Erarbeitung I</i> EA AB	Erklärung Selbstevaluationsbogen: Vorher-Nachher und Überblick über Reiheneinhalt
<i>Erarbeitung II</i> EA/PA AB Membranen	„Erarbeiten Sie mithilfe der Materialien den Aufbau und die Funktion einer Biomembran.“ „Bereiten Sie hierzu einen Kurzvortrag vor (siehe Aufgabenstellung AB).“
<i>Erarbeitung III</i> EA/PA AB Modelle	Grundlagen zur Modellarbeit (siehe Aufgabenstellung AB)
<i>Sicherung I</i> SV evtl. PP und Notizen	Vorträge der Schülerinnen und Schüler Ausführliche Lösungsvorschläge: siehe Online-Materialien
<i>Sicherung II</i> Plenum	Besprechung des AB Grundlagen zur Modellarbeit

### Geförderte Kompetenzen:

- E7: Die Schülerinnen und Schüler können an ausgewählten Beispielen die Bedeutung, aber auch die Vorläufigkeit biologischer Modelle und Theorien beschreiben.

### Erläuterungen / Hinweise:

- Dies ist eine Doppelstunde. Eine Einzelstunde wäre bis zu den Vorträgen sinnvoll. Die Vorträge können bzw. ein Vortrag kann in der nächsten Stunde als Einstieg dienen.

Biologie Einführungsphase		Aufbau und Funktion einer Biomembran			Selbsteinschätzung	
<b>Die Biomembran und ihre Modellentwicklung</b>				<b>Name:</b>		
Selbständige Lernerfolgsüberprüfung						
Ich kann....	Stimmt	Stimmt überwiegend	Stimmt teilweise	Stimmt nicht	Unterrichts- material	
 den Aufbau und die Funktion der Biomembran beschreiben.					AB 1	
 die Merkmale von „theoretischen Modellen“ und „Modellen zur Anschauung“ erklären.					AB 2	
 die Aufgaben von Modellen erklären.					AB 2 AB 3	
 die unterschiedlichen Transportvorgänge durch die Biomembran erklären.					AB 5	
 erklären, wie die Modelle zum Aufbau der Biomembran in der Forschung eingesetzt wurden.					AB 3 Karten	
 den wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs zum Aufbau der Biomembran durch den technischen Fortschritt erklären.					AB 3 Karten	
 die Veränderlichkeit der Modelle zur Biomembran anhand der technischen Entwicklung aufzeigen.					AB 3 Karten	
 die Grenzen bzw. den Gültigkeitsbereich meines Modells erkennen und benennen.					AB 4	
 die Modelle anderer bewerten.					AB 4	
<p>Legende:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  = Umgang mit Fachwissen         </div> <div style="text-align: center;">  = Erkenntnisgewinn         </div> </div>						

Abbildung 3: Selbstevaluationsbogen



## Reihenstunde 3 und 4: Erkenntnisgewinnung zur Biomembran mithilfe verschiedener Modelle

Phase Sozialform Medium	Unterrichtsgeschehen
<i>Einstieg</i> Plenum	„Die Erkenntnisse, die man heute über die Biomembran hat, konnten erst im Laufe der Zeit anhand vieler wissenschaftlicher Untersuchungen gewonnen werden.“ <i>Sammlung: „Welche Schwierigkeiten gab es auf dem Weg der Forschung? Stellen Sie Hypothesen auf!“</i> [Zellen zu klein, um sie zu sehen; technische Möglichkeiten nicht vorhanden; kein Geld] „Da die Biomembranen nicht mit allen Details sichtbar gemacht werden konnten, erstellten die Forscher Modelle. Daher entwickelten sich im Lauf dieses Erkenntnisgewinnungsprozesses verschiedene Modelle zur Biomembran. Den wissenschaftlichen Weg der Erkenntnisgewinnung werden wir heute untersuchen und nachvollziehen.“
<i>Erarbeitung I</i> GA AB und Karten AB Erkenntnisgewinnung <i>Erarbeitung II</i>	AB Modellvorstellungen zur Biomembran (=Aufgabenstellung), Karten, Raster Erkenntnisgewinnung  „Erklären Sie, warum es hier unangemessen ist, von richtigen oder falschen Modellen zu sprechen“
<i>Sicherung I</i> Plenum PP Evtl. Modelle auf DIN A4-Blättern und Magnete für die Tafel	Präsentation und Besprechung der Arbeitsergebnisse  <i>Ausführliche Lösungsvorschläge: siehe Online-Materialien</i>
<i>Sicherung II</i>	Modelle entwickeln sich im Laufe der Zeit durch Wissenszuwachs und technischen Fortschritt weiter und verändern sich.
Hausaufgabe	„Stellen Sie mit Materialien Ihrer Wahl jedes Modell nach und fotografieren Sie es. Bitte senden Sie mir die Fotos per E-Mail zu (auch in Kleingruppen möglich).“

### Geförderte Kompetenzen:

- Die Schülerinnen und Schüler stellen den wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs zum Aufbau von Biomembranen durch technischen Fortschritt an Beispielen dar und zeigen daran die Veränderlichkeit von Modellen auf.
- E6: Die Schülerinnen und Schüler können Modelle zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage biologischer Vorgänge begründet auswählen und deren Grenzen und Gültigkeitsbereiche angeben.
- E7: Die Schülerinnen und Schüler können an ausgewählten Beispielen die Bedeutung, aber auch die Vorläufigkeit biologischer Modelle und Theorien beschreiben.

### Erläuterungen / Hinweise:

- Zur Differenzierung und Strukturierung der Erarbeitungsphase werden die Arbeitsaufträge auch mit Hilfestellungen angeboten (siehe ausführlichen Verlaufsplan in der Online-Fassung).
- Zur Sicherung der Stunde hat es sich bewährt, die einzelnen Modelle auf DIN-A4-Papier auszudrucken und von Schülerinnen und Schülern an der

Tafel ordnen und erläutern zu lassen. Die jeweiligen Forscher und deren Experimente bzw. Methoden können hier ergänzt werden. Die Lehrperson kann an dieser Stelle auch die konkreten Jahreszahlen der jeweiligen Modelle einführen, sodass sich eine Tabelle an der Tafel ergibt (siehe Lösung im Unterrichtsverlauf der Online-Version).

- Gruppengröße: drei bis vier Schülerinnen und Schüler
- Pro Gruppe nur einen Satz Karten verteilen, damit die Interaktion der Schülerinnen und Schüler gefördert wird.
- Für die Hausaufgaben (siehe Verlaufsplan) kann die Lehrperson Materialvorschläge geben. Es bieten sich an: Knete, Papier, Stifte, Geldmünzen o.ä. Es sollte der Hinweis gegeben werden, dass die Fotos auf einem Stick mitgebracht oder per E-Mail zugesendet werden (so kann die Lehrperson bereits vor dem Unterricht eine Auswahl für die Präsentation der Schülerergebnisse treffen).
- Eine mögliche App zur Erstellung animierter Bildsequenzen für das Android-System und für iPhone ist z. B. Stop-Motion Studio.

Biologie Einführungsphase	Modellvorstellungen zur Biomembran	<b>Karten</b>
<b>Verschiedene Modellvorstellungen zur Biomembran</b>		
<p>Auf jeder der Karten, die Sie ausgeteilt bekommen haben, wird ein Modell zur Biomembran vorgestellt. Zusätzlich liefern die Karten Informationen zu den Experimenten der jeweiligen Forscher und deren Vorwissen. Des Weiteren werden teilweise technische Erfindungen bzw. zentrale Verfahren genannt, die zum dem Zeitpunkt der Forschung für die Modellerkenntnis relevant waren.</p> <p><b>Aufgabe 1:</b> Beschreiben Sie die jeweilige Untersuchung bzw. das Experiment, welches die Forscher zu ihrer Modellvorstellung gebracht hat. Erklären Sie, wie man auf die Modellnamen kam. Füllen Sie bei mindestens zwei Modellen das Raster zur Erkenntnisgewinnung aus. (Das Raster liegt aus.)</p> <p><b>Aufgabe 2:</b> Überlegen Sie, welche vorhandenen technischen Erfindungen und welches Vorwissen zu den jeweiligen Zeitpunkten den Erkenntnisgewinn vorangebracht haben.</p> <p><b>Aufgabe 3:</b> Erstellen Sie eine zeitliche Anordnung der Modelle. Erklären Sie, welche Erkenntnisse aus den jeweils vorher erstellten Modellen verworfen bzw. abgeändert wurden.</p> <p>Notieren Sie Ihre Ergebnisse im Heft.</p> <p><b>Zusatzaufgabe:</b> Überlegen Sie zu dem Goldpartikelverfahren einen möglichen Modellnamen der Biomembran.</p>		

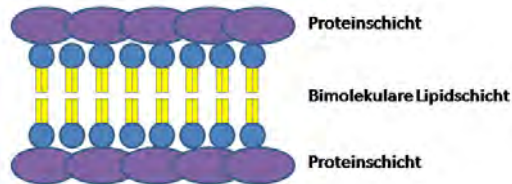
Abbildung 4: Arbeitsaufträge zu den Reihenstunden 3 und 4

Differenzierungsmöglichkeit:

Notieren Sie Ihre Ergebnisse chronologisch im Heft in Form einer Tabelle:

Modellname	Forscher	Untersuchung/ Experiment	Vorwissen/ Erfindungen	Änderungen
------------	----------	-----------------------------	---------------------------	------------

*Danielli* und *Davson* entwickelten ein Modell, nach dem die Membran wie ein Sandwich mit einer Phospholipid-Doppelschicht zwischen zwei Schichten Proteinen aufgebaut ist.



Sie entwickelten ihr Modell, nachdem in den 20er Jahren mit neuen Techniken nachgewiesen worden war, dass wasserlösliche (hydrophile) Proteine in der Biomembran vorkommen. Sie gingen daher der Fragestellung nach, wie die Proteine in der Biomembran angeordnet sind. Sie wussten aus Experimenten, dass die Köpfe der Phospholipide zwar hydrophil sind, aber die Oberfläche einer künstlichen Membran aus einer Phospholipid-Doppelschicht nicht so stark an Wasser haftet, wie eine wirkliche biologische Membran.

Diesen Unterschied erklärten sie mit der Annahme, dass die Membran auf beiden Seiten von Proteinen bedeckt ist und somit eine Sandwichstruktur aufweist.

Abbildung 5: Beispielkarte zu den Reihenstunden 3 und 4

## Reihenstunde 5: Reflexion und Rekapitulation (optionale Stunde)

Phase Sozialform Medium	Unterrichtsgeschehen
<i>Einstieg</i> Plenum	„Sie kennen nun verschiedene Arten von Modellen und haben gesehen, wie sie in der Biologie eingesetzt werden können. Auf der Grundlage Ihres Wissens können Sie nun Modelle bewerten, d. h. Modellkritik üben. Wenn ein Modell erstellt wird, muss man überprüfen, ob es auch das darstellt, was gewünscht ist. Dafür muss man sich bewusst machen, welche Unterschiede zum Original bestehen und inwiefern diese Unterschiede das Dargestellte beeinflussen. <i>Sammlung: „Was könnte man an einem Modell bewerten?“</i>
Überleitung	„Das werden wir an Ihren Modellen (HA) üben.“
<i>Erarbeitung I</i> TPS AB Modellkritik Beamer, Laptop	Schülerinnen und Schüler bewerten einzelne Modelle, die per Beamer gezeigt werden, und ihr eigenes mit AB. „Nun haben Sie Ihre Modelle hauptsächlich als Struktur- bzw. Anschauungsmodelle gebaut. Im wissenschaftlichen Erkenntnisweg gab es noch weitere Funktionen, die Sie letzte Stunde erarbeitet haben. Heute vertiefen wir das Gelernte und wenden unsere Kriterien zur Modellkritik auf die historischen Modelle an.“
<i>Erarbeitung II</i> PA AB Reflexion	Schülerinnen und Schüler bearbeiten AB Reflexion.
<i>Sicherung I</i> PA, Plenum	Unterschiedliche Materialien können die gleiche Struktur darstellen. Die Modelle stellen das dar, was wir gelernt haben: Struktur der Biomembran (Strukturmodelle) und Anschauungsmodelle. Sie unterscheiden sich in Farbe, Größe, Material und ggfs. Form (2D); ggfs. kleben die Materialien aneinander (Kleber, Klettverschluss) oder sind nicht von Wasser umgeben.
<i>Sicherung II</i> Plenum Folie AB Reflexion	Sie eignen sich gut, wenn sie die Struktur angemessen wiedergeben.  siehe Lösung AB (Online-Materialien)

### Geförderte Kompetenzen:

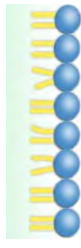
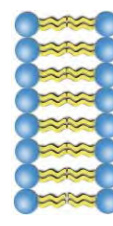
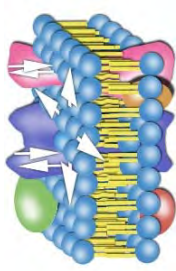
- Die Schülerinnen und Schüler erstellen und bewerten eigene Modelle zu der Biomembran und erkennen und bewerten ihre Grenzen bzw. den Gültigkeitsbereich des eigenen Modells.
- Die Schülerinnen und Schüler stellen den wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs zum Aufbau von Biomembranen durch technischen Fortschritt an Beispielen dar und zeigen daran die Veränderlichkeit von Modellen auf.

### Erläuterungen / Hinweise:

- Diese Stunde ist insofern optional, als dass die Schülerinnen und Schüler Kenntnisse über die historische Modellentwicklung bereits aus der vorherigen Stunde besitzen und in der folgenden Stunde die Modellkritik und die Bewertung von Grenzen und Gültigkeitsbereichen von Modellen anhand von Transportmechanismen der Biomembran ausführen. Trotzdem ist sie eine wertvolle Stunde, in der der Kompetenzaufbau vertiefend gefördert wird, was insbesondere schwächeren Schülerinnen und Schülern zugutekommt.
- Die Stunde vertieft die Kenntnisse über die historische Modellentwicklung und schult kumulativ die Fähigkeiten zur Bewertung von Modellen, sodass die Schülerinnen und Schüler die Grenzen und Gültigkeitsbereiche historischer und eigener Modelle sicher erläutern können. Speziell in Hinblick auf eine Lernerfolgsüberprüfung (Klausur) ist diese Stunde empfehlenswert.

## Die Erforschung der Biomembran: *Rekapitulation und Reflexion*

Historischer Weg der Erkenntnisgewinnung zum Aufbau der Biomembran:

<p>Forscher &amp; Modelldellname</p> <p><b>1917: Langmuir</b> Lipideinzelschicht Monolayer</p>			
<p>Erkenntnis/Modell</p>	<p><input type="checkbox"/> Modell wird erweitert <input type="checkbox"/> Modell wird revidiert</p> <p>Möglich durch:</p>	<p><input type="checkbox"/> Modell wird erweitert <input type="checkbox"/> Modell wird revidiert</p> <p>Möglich durch:</p>	<p><input type="checkbox"/> Modell wird erweitert <input type="checkbox"/> Modell wird revidiert</p> <p>Möglich durch:</p>

### Bewertung der Modelle:

Die Modelle zum Aufbau der Biomembran ...

- ⇨ unterscheiden sich von der Realität in folgenden Merkmalen:
  - Form
  - Farbe
  - Größe
  - Funktion
  - Struktur
  - Material
- ⇨ sind:
  - Funktionsmodelle
  - Strukturmodelle
  - Anschauungsmodelle
  - theoretische Modelle
- ⇨ dienen den Forschern als:
  - Fragestellung
  - Untersuchungsgegenstand
  - Hypothesen
  - Darstellung der Erkenntnisse
- ⇨ Das Flüssig-Mosaik-Modell ist DAS Modell zum Aufbau der Biomembran und ist nun immer gültig.
  - stimmt, weil
  - stimmt nicht, weil

### **Aufgaben:**

1. Ergänzen Sie die Forscher und Modellnamen im Zeitstrahl. Begründen Sie, warum hier das Modell von Robertson nicht dargestellt ist und das Goldpartikelverfahren fehlt.
2. Kreuzen Sie Zutreffendes an den Pfeilen an und ergänzen Sie, wodurch die Veränderung möglich wurde.
3. Bewerten Sie die Modelle, indem Sie Zutreffendes ankreuzen (Mehrfachnennungen sind möglich) und in Ihrem Heft begründen.

Abbildung 6: Arbeitsblatt zur Reihenstunde 5

## Reihenstunde 6 und 7: Transportvorgänge durch Biomembranen

Phase Sozialform Medium	Unterrichtsgeschehen
<i>Einstieg</i> Plenum	„Nun haben wir ausführlich den Aufbau der Biomembran besprochen. Heute schauen wir uns eine wichtige Funktion der Biomembran an.“ <i>Wiederholung/Sammlung: Welche Funktionen erfüllt die Biomembran?</i> „Die Kompartimentierung führt zum gezielten Transport bzw. Austausch von Stoffen. Diesen Transport schauen wir uns heute an: Stellen Sie bitte die verschiedenen Transportmechanismen mit Modellen dar.“
<i>Erarbeitung I</i> Plenum Folie 1 und Folie AB Transportmechanismen	„Vergleichen Sie den aktiven und passiven Transport anhand der Abbildung.“ (Schematische Abbildung: die Unterscheidung von aktivem und passivem Transport) Lehrperson notiert die Unterschiede auf der Folie unter der Abb. „Das sind die grundlegenden Unterschiede. Nun gehen wir ins Detail.“ Schülerinnen und Schüler erhalten das AB und können sich ggfs. Notizen machen: Lehrervortrag über die verschiedenen Transportmechanismen anhand der Folie mit TPS-Phasen: Schülerinnen und Schüler nennen jeweils die Nr. in der Abb. und füllen die Tabelle schrittweise aus. Lehrperson notiert jeweils auf Folie.
<i>Erarbeitung II</i> Lehrervortrag TPS	„Sie bauen heute arbeitsteilig die Transportmechanismen in einem Modell nach. Anschließend stellen Sie Ihre Ergebnisse den anderen vor und wir üben Modellkritik. Daher: Vorüberlegungen zur Modellarbeit [Was soll dargestellt werden: Funktion; welche Materialien haben wir?; was muss nicht detailliert dargestellt sein: jede Struktur] Arbeitsteilige Erstellung der Modelle zu aktiven Transportmechanismen: Kleingruppen von 2 bis 3 Schülerinnen und Schüler; Jeden Transportmechanismus mindestens doppelt verteilen: Gruppe 1: kanalvermittelter Transport Gruppe 2: carriervermittelter passiver Transport Gruppe 3: primär aktiver Transport Gruppe 4: sekundär aktiver Transport (Differenzierung: an die stärkeren Schülerinnen und Schüler vergeben)
<i>Erarbeitung III</i> PA Lipiddoppelschicht (Vorlage) Verschiedene Materialien zur Modellbildung; z. B. Moosgummi-Formen	
<i>Sicherung</i> Plenum	Darstellung, Erläuterung der Modelle zu den Transportmechanismen + Modellkritik
<i>Vertiefung I</i> Modelle, ggf. AB Modellkritik, AB Selbstevaluation	Selbstevaluation ausfüllen und kurz besprechen Vergleich der Transportmechanismen hinsichtlich der Kriterien
<i>Vertiefung II</i> (optional oder HA)	Richtung, Spezifität und Energiebedarf 1. Diffusion 2. erleichterte Diffusion 3. aktiver Transport

### Geförderte Kompetenzen:

- Die Schülerinnen und Schüler beschreiben Transportvorgänge durch Membranen für verschiedene Stoffe mithilfe geeigneter Modelle und geben die Grenzen dieser Modelle an.
- In Anlehnung an E6 (Modelle): Die Schülerinnen und Schüler können ein eigenes Modell zu einem Transportmechanismus der Biomembran erstellen und die Grenzen bzw. den Gültigkeitsbereich des eigenen Modells erkennen und benennen.

*Erläuterungen / Hinweise:*

- Falls Stunde 5 entfällt, muss hier ergänzend zum Unterrichtsverlauf die Hausaufgabe von Stunde 4 (Fotos der eigenen Modellnachbauten) zu Beginn der Stunde aufgegriffen werden (Ideen s. Verlaufsplan zur Stunde 5).
- Der Schwerpunkt der Einheit liegt, auch zeitlich, auf der schülereigenen Erstellung, Präsentation und Evaluation der Modelle zu den verschiedenen Transportmechanismen. Hilfreich ist bei der Präsentation der Einsatz einer Dokumentenkamera.

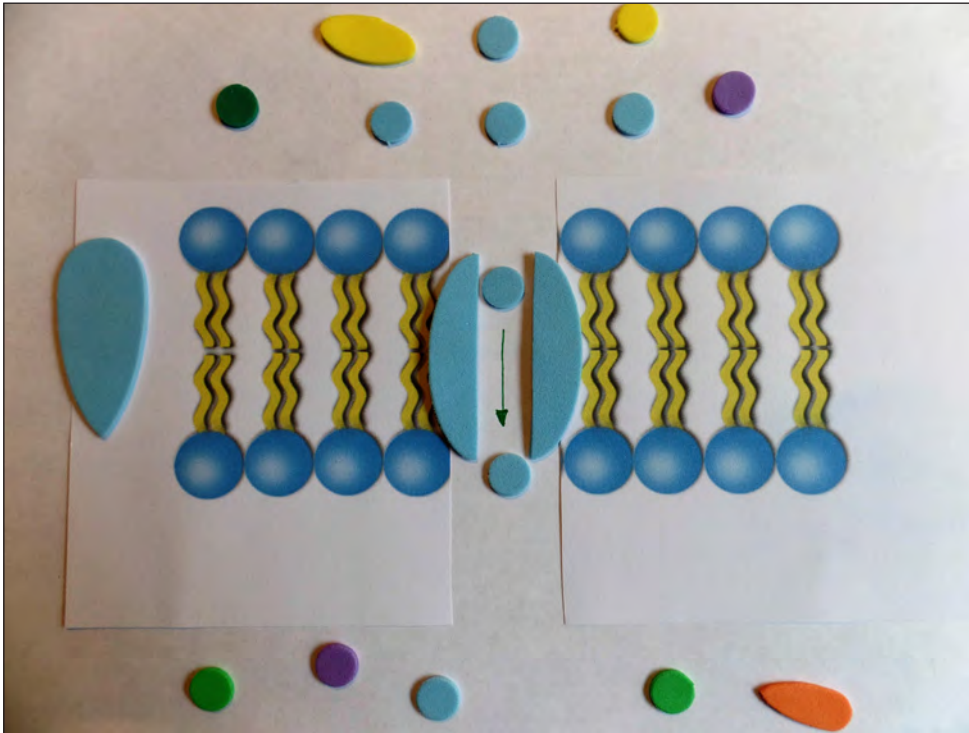
*Schülerergebnis zur Reihensunde 6 und 7:*

Abbildung 7: Schülerergebnis zur Reihensunde 7 – Modellbau zum carriervermittelten Transport

### 3. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Perspektiven

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die erstellte Unterrichtsreihe die Erarbeitung der Thematik *Biomembran und Förderung der Kompetenzen zum Umgang mit Modellen* effektiv ermöglicht und eine vollständige Grundlage für eine Klausur darstellt, wobei die einzelnen Unterrichtseinheiten auch losgelöst von der dargestellten Reihe in eine individuelle Planung integriert werden können. Die Differenzierungsmaterialien sowie die flexible Handhabung der Materialien ermöglichen die Übertragung auf beliebige Lerngruppen. Die Schülerinnen und Schüler berichten über eine nachhaltige Aneignung von Fähigkeiten zur Modellarbeit, die von den Lehrpersonen in den anschließenden Unterrichtsvorhaben (auch Q1) bestätigt werden konnten.

Perspektivisch können die gewonnenen Modellkompetenzen als Grundlage für weitere Modellarbeit in der Sekundarstufe II dienen, exemplarisch sei hierbei der Aufbau der DNA genannt. Des Weiteren kann die grundlegende Konzeption der sukzessiven Modellarbeit Vorlage für andere Unterrichtsreihen zum

Kompetenzerwerb der Erkenntnisgewinnung sein. Auch der Selbstevaluationsbogen kann auf andere Unterrichtssequenzen übertragen werden.

## Literatur

- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A. Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Walter, P. (2005). *Lehrbuch der Molekularen Zellbiologie*. (L. Nover & P. v. Koskull-Döring, Hrsg. der Übersetzung). Weinheim: Wiley.
- Bovet, G. & Huwendiek, V. (Hrsg.) (2011). *Leitfaden Schulpraxis. Pädagogik und Psychologie für den Lehrerberuf*. Berlin: Cornelsen.
- Dirks, M., Engelen, S. & Lübeck, M. (2015). Kompetenzorientierter, naturwissenschaftlicher Unterricht am Gymnasium von Anfang an?! In Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), *SINUS.NRW – Impulse für einen kompetenzorientierten naturwissenschaftlichen Unterricht. Materialien und Anregungen zur Unterrichtsentwicklung – Berichte aus den SINUS.NRW-Projekten* (Die Schule in Nordrhein-Westfalen, 9050/2, 1. Auflage, S. 7–28). Düsseldorf.
- Giere, R., Bickle, J. & Mauldin, R. (2006). *Understanding Scientific Reasoning*. Belmont, CA: Thomson Wadsworth.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*. Biologie. Düsseldorf.
- Pant, H. A., Stanat, P., Schroeders, U., Roppelt, A., Siegle, T. & Pöhlmann, C. (Hrsg.) (2013). *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I*. Münster: Waxmann.
- Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- Upmeier zu Belzen, A. (2013). Unterricht mit Modellen. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (S. 325–334). Hallbergmoos: Aulis.

## Projektgruppe

Dr. Dagmar Friedrichs, Görres Gymnasium, Düsseldorf

Dr. Horst Bickel, Düsseldorf

Isabel Edeler, Theodor-Heuss-Gymnasium, Essen



Alexander Rother und Maik Walpuski

## Eine Landkarte des Lernens im Chemieunterricht

### Vernetztes Lernen anlegen und mit Diagnoseaufgaben sichern

Das Fach Chemie ist in besonderem Maße durch eine logisch aufeinander aufbauende Sachstruktur gekennzeichnet, deren Berücksichtigung eine Voraussetzung für erfolgreiches Lernen darstellt. Neue grundlegende Ideen und Vorstellungen können hierbei nur verstanden und eingeordnet werden, wenn die logischen Abhängigkeiten und der fachlich hierarchische Aufbau transparent sind. Auf dieser Basis kann gut strukturiertes verfügbares Wissen entstehen, welches wiederum einen wesentlichen und notwendigen Bestandteil fachlicher Kompetenzen ausmacht. Aber wird der Unterricht unter diesen Prämissen geplant? Werden im Unterricht die sachlogischen Bezüge und Abhängigkeiten innerhalb und auch zwischen den Basiskonzepten *Chemische Reaktion*, *Struktur der Materie* und *Energie* ausreichend berücksichtigt und Unterrichtskonzepte dahingehend überprüft?

logische  
Abhängigkeiten

Vor diesem Hintergrund ist in dem vorgestellten Projekt eine „Netzkarte der chemischen Ideen“ für den Chemieunterricht der ersten beiden Lernjahre erstellt worden, die eine sinnvolle hierarchische Reihenfolge der grundlegenden Kernideen und ihrer Abhängigkeiten abbildet. Diese als *Landkarte des Lernens* bezeichnete grafische Übersicht folgt den Prinzipien der *Learning Progressions* und kann sowohl als Unterrichtsplanungshilfe als auch für Diagnoseinstrumente zur Überprüfung von Lernerfolgen eingesetzt werden, um die Kompetenzentwicklung von Schülerinnen und Schülern im Fach Chemie zu erfassen und zu verbessern. Die dargestellten Abhängigkeiten werden in der Praxis mit Hilfe von Leistungstests, die nach wissenschaftlichen Kriterien unter Anleitung und Begleitung durch die Universität Duisburg-Essen – Fachdidaktik Chemie entwickelt wurden, empirisch evaluiert.

## 1. Projektbeschreibung und Zielsetzung

### Ausgangslage als Herausforderung – Lernen durch Vernetzung

Die Ergebnisse des *IQB-Ländervergleichs 2012 – Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (Pant et al., 2013) zeigen bezogen auf den Kompetenzerwerb im Chemieunterricht bundesweit und besonders für NRW Ergebnisse, die erheblichen Anlass zur Besorgnis liefern. Außerhalb der Gymnasien erreichen im Fach Chemie in den Kompetenzbereichen Fachwissen und Erkenntnisgewinnung sehr viele Schülerinnen und Schüler nicht die Regelstandards (Kompetenzstufe III). Ein großer Teil kann sogar nicht einmal die

IQB-Länder-  
vergleich

Mindeststandards (Kompetenzstufe II) erfüllen (s. Tabelle 1), Chemieunterricht bleibt bei ihnen also praktisch wirkungslos.

Tabelle 1: Ergebnisse des Ländervergleichs 2012

	Anteil der Schülerinnen und Schüler außerhalb des Gymnasiums, die <i>nicht</i> die <i>Regelstandards</i> (Kompetenzstufe III) erreichen		Anteil der Schülerinnen und Schüler außerhalb des Gymnasiums, die <i>nicht</i> die <i>Mindeststandards</i> (Kompetenzstufe II) erreichen	
	NRW	Deutschland	NRW	Deutschland
<i>Chemie Fachwissen</i>	69,7 %	62,1 %	32,1 %	26,1 %
<i>Chemie Erkenntnisgewinnung</i>	65,1 %	55,1 %	26,9 %	19,1 %

Auch wenn die Gründe für diese auffälligen Defizite bisher nicht eindeutig ermittelt sind, so ist doch offensichtlich, dass Maßnahmen erforderlich sind, um den Erwerb der in den Standards geforderten Kompetenzen für einen wesentlichen Teil der Lernenden zu ermöglichen. Da der Chemieunterricht insgesamt kumulativ angelegt ist, liegt die Vermutung nahe, dass bisher diese Schülerinnen und Schüler aufgrund von frühen Verständnisproblemen den Anschluss verlieren und so bis zum mittleren Schulabschluss die angestrebten Ziele verfehlen.

Eine Ursache für diese Schwierigkeiten – und dies ist die Grundannahme des Projekts – ist vermutlich die fehlende Sichtbarkeit eines „roten Fadens“ im Lernprozess bzw. das Fehlen einer vernetzten Struktur grundlegender fachlicher Ideen und Konzepte bei vielen Schülerinnen und Schülern. Aber gerade das Vorhandensein solcher Strukturen ist nach lernpsychologischen Erkenntnissen die Voraussetzung dafür, in einem Lernprozess neue Informationen aufzunehmen und Kompetenzen entwickeln zu können. Dabei werden neue Ideen an bereits vorhandene Wissensstrukturen angebunden. Es geht darum, Wissen als ein mentales Netz aus grundlegenden fachlichen Ideen und Konzepten aufzubauen, das ein Verständnis chemischer Vorgänge ermöglicht.

Eine belastbare Wissensgrundlage ist eine der Voraussetzungen für die jeweils weitere Kompetenzentwicklung im Unterricht. Dabei wird Kompetenz als eine Disposition verstanden, die Personen befähigt, bestimmte Arten von Problemen erfolgreich zu lösen. Im Sinne dieses Kompetenzverständnisses müssen *Wissen und Können* kombiniert werden, um fachliche Anforderungen erfolgreich zu bewältigen. Dabei soll Wissen nicht als das Ergebnis eines reinen Faktenlernens verstanden werden, bei dem die Lernelemente zwar abrufbar sind, aber unverbunden nebeneinanderstehen und nicht zur Lösung von Problemen herangezogen werden können. Es geht um einen umfassenden Wissensbegriff, um strukturiertes Wissen, das ein Verstehen von Zusammenhängen und Handlungsmöglichkeiten beinhaltet.

### Wissensstrukturen

### Kumulatives Lernen

Kumulatives Lernen ist für ein anschlussfähiges und flexibel anwendbares Wissen in den Naturwissenschaften unabdingbar, wobei die hierarchische Funktion bestehender Lernelemente für den Erwerb neuer Elemente besonders zu beachten ist. Entsprechend muss auch der Unterricht an einem solchen Vernetzungsgedanken orientiert sein.

Fachdidaktische Literatur stellt daher schon lange die Forderung auf, die Vernetzung zu erleichtern, indem die zugrunde liegende Sachstruktur berücksichtigt wird. Diese in Netzen organisierten Sachstrukturanalysen könnten dann die Grundlage für die Curriculumsentwicklung und auch im Sinne eines *Advance*

*Organizers* die Planungsgrundlage für den Unterricht bilden. Advance Organizer erscheinen vor allem dann besonders geeignet, wenn sie dazu genutzt werden, langfristig Lernprozesse zu strukturieren. Auch Lernpsychologen schlagen vor, dass zum Zweck des Lernens sogenannte „Ankerideen“ in den Prozess der Wissensaneignung eingebracht werden sollen, die im Idealfall zum kumulativen Aufbau neuer Wissensstrukturen beitragen können.

Die neuere fachdidaktische Forschung greift die oben beschriebenen Ideen zum kumulativen Lernen in sogenannten „Learning Progressions“ auf. Learning Progressions beschreiben mögliche Wege der Kompetenzentwicklung und geben eine bestimmte Abfolge von Fähigkeiten und Kernideen vor, die die Schülerinnen und Schüler im Laufe einer längeren Zeitspanne erworben haben sollen, indem sie den gestellten Anforderungen gerecht werden und die erforderlichen Kompetenzen schrittweise, die verschiedenen Progressionsstufen durchschreitend, entwickeln (Abbott, 2014). Ein Beispiel für die Darstellung eines solchen Netzes in verschiedenen Progressionsstufen bietet das Projekt 2061 der American Association for the Advancement of Sciences (AAAS) (AAAS, 2007).

Learning  
Progressions

### Vorgehensweise

Analog zur Vorgehensweise der AAAS wurden im hier vorgestellten Projekt zunächst *Kernideen* beschrieben, die die Basiskonzepte im Fach Chemie für das erste und zweite Lernjahr strukturieren. Diese wurden durch detaillierte *Beschreibungen* und *Diagnoseaufgaben* ergänzt. Die Kernideen wurden innerhalb der Basiskonzepte in einer sachlogischen Reihenfolge angeordnet, dabei wurden auch Zusammenhänge zu Kernideen anderer Basiskonzepte aufgezeigt. Das Ergebnis ist ein Überblick über hierarchisch gegliederte und miteinander verbundene Kernideen, die *Landkarte des Lernens*. Die Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang der vier Strukturelemente des Projekts.

Kernideen

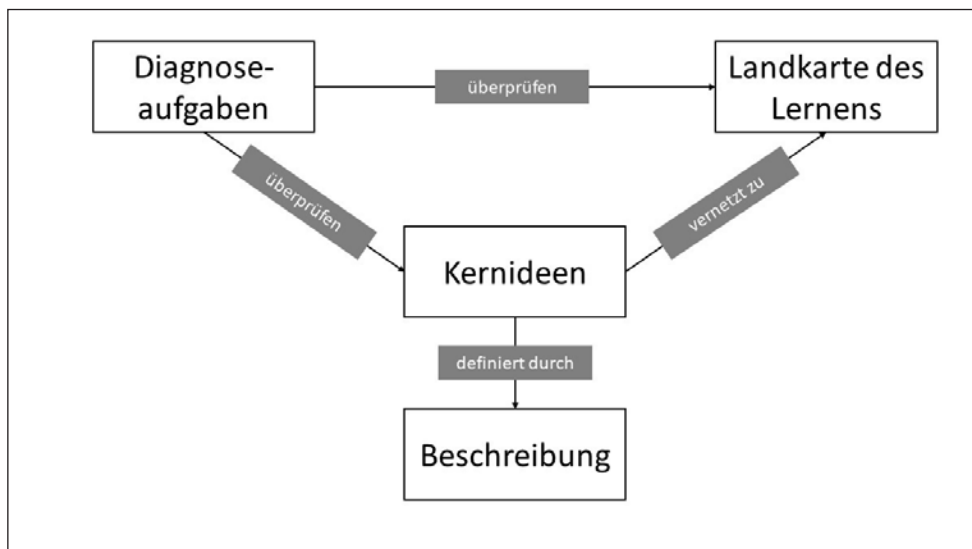


Abbildung 1: Zusammenhang der Strukturelemente des Projektes

### Kernideen zur Strukturierung der Basiskonzepte

Für den Aufbau einer vernetzten Struktur des Gelernten sind in einem ersten Schritt einzelne Kernideen zu definieren. Unter einer Kernidee ist eine grundlegende Vorstellung bzw. Annahme der Chemie, die zum Verständnis eines

Themenfeldes beiträgt, zu verstehen. Kernideen gehen damit deutlich über die Abbildung einfacher Fakten hinaus, weil sie zentrale Annahmen der Chemie darstellen, die zur Erklärung verschiedener Phänomene und Zusammenhänge genutzt werden können. Eine Kernidee im Basiskonzept Chemische Reaktion lautet beispielsweise „*Chemische Reaktionen können durch das Donator-Akzeptor-Prinzip beschrieben werden*“. Kernideen beschreiben grundlegende Konzepte im Kompetenzbereich *Umgang mit Fachwissen* und sollen durch die strukturierte Verknüpfung ein anschlussfähiges Lernen ermöglichen. Sie stellen somit die Voraussetzung für die Bewältigung weiterer Aufgaben sowohl im Kompetenzbereich *Umgang mit Fachwissen* als auch in den Kompetenzbereichen *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* dar.

#### Erwartungen und Grenzen

Jede Kernidee wird innerhalb des Projekts nach einem einheitlichen Schema beschrieben (siehe Abbildung 2). Die Kernideen sind den in den Curricula formulierten Basiskonzepten *Chemische Reaktion* (CR), *Struktur der Materie* (SdM) und *Energie* (E) auf dem jeweiligen Stand eines Lernjahres zugeordnet und werden fortlaufend nummeriert (1). Sie werden durch eine aussagekräftige Beschreibung definiert (2). Erwartungen beschreiben, welche Erkenntnisse und Fähigkeiten die Schülerinnen und Schüler besitzen müssen, um die Kernidee im zu diesem Zeitpunkt erforderlichen Umfang verstanden zu haben und anwenden zu können (3). Zugleich wird bei den Grenzen aber auch angegeben, welche fachlichen Aspekte im Zusammenhang mit dieser Kernidee noch nicht bekannt sein müssen (4). Für diese Einschränkung kann es verschiedene Gründe geben, z.B. dass diese Aspekte Teil einer späteren Kernidee sind oder ihre Behandlung in der Schule generell nicht sinnvoll erscheint. Überlegungen zu bekannten fehlerhaften Schülervorstellungen beschließen die Ausführungen zu den Kernideen (5). Sie geben Hinweise auf mögliche Lernschwierigkeiten und sollten folglich einen Einfluss auf die Gestaltung des Unterrichts haben, können aber auch zur Konstruktion von Diagnoseaufgaben verwendet werden (siehe Kap. Diagnoseaufgaben: Konstruktion und Funktion).

#### Diagnoseaufgaben

Basiskonzept: Struktur der Materie	Lernjahr II
<b>Idee 4:</b>	(1)
Die Verteilung der Elektronen in der Atomhülle kann durch das Schalenmodell beschrieben werden.	(2)
<b>Erwartungen:</b>	
Schülerinnen und Schüler wissen, dass nach dem Schalenmodell ... <ul style="list-style-type: none"> <li>– sich die Elektronen in der Atomhülle nur in bestimmten Bereichen bewegen.</li> <li>– Schalen gedachte Aufenthaltsbereiche für Elektronen sind.</li> <li>– Elektronen die Schalen nach bestimmten Prinzipien besetzen (innerste Schale max. 2 Elektronen, äußere Schale max. 8 Elektronen).</li> <li>– die Elektronen von innen nach außen aufgefüllt werden.</li> <li>– eine vollbesetzte Außenschale der Edelgaskonfiguration entspricht.</li> </ul>	(3)
<b>Grenzen:</b>	
Schülerinnen und Schüler müssen – bezogen auf diese Kernidee – nicht wissen, ... <ul style="list-style-type: none"> <li>– dass es die Besetzungsregel nach der Formel <math>2n^2</math> gibt.</li> <li>– dass den Schalen entsprechende Energieniveaus zuzuordnen sind.</li> <li>– dass sich das Schalenmodell ausgehend von den Ionisierungsenergien herleiten lässt.</li> <li>– dass sich der Aufbau des PSE aus dem Schalenmodell ableiten lässt.</li> <li>– dass bestimmte Schalen auch mit mehr als 8 Elektronen besetzt werden können.</li> </ul>	(4)
<b>Gängige fehlerhafte Schülervorstellungen:</b>	(5)
– Schalen werden materiell (wie z.B. beim Zwiebelaufbauprinzip) verstanden.	

Abbildung 2: Beschreibung einer Kernidee

## Landkarte des Lernens

Die strukturierte Übersicht der Kernideen wird als *Landkarte des Lernens* bezeichnet und bildet eine sinnvolle Reihenfolge der grundlegenden Kernideen und ihrer Abhängigkeiten ab. Sie stellt auf der einen Seite eine Planungshilfe für Lehrerinnen und Lehrer dar, mit der die Lehrkräfte logisch abgestimmte Unterrichtsschritte entwickeln können und zusätzlich den Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler begleiten und kontrollieren können. Auf der anderen Seite kann die Landkarte des Lernens auch verwendet werden, um den Schülerinnen und Schülern die Zusammenhänge der Kernideen zu veranschaulichen und so eine Lernhilfe darzustellen. Das Prinzip der *Landkarte des Lernens* nimmt dabei bestehende Konzeptionen auf, insbesondere Konzeptionen der American Association for the Advancement of Sciences (AAAS). Selbstverständlich bewegen sich die Inhalte der Landkarte des Lernens innerhalb des Rahmens des Kernlehrplans und bilden dabei nur einen Teil der Kernlehrplan-Kompetenzen ab, sodass bei der Planung von Unterricht auch alle weiteren Kompetenzen des Kernlehrplans berücksichtigt werden müssen.

In der grafischen Darstellung der *Landkarte des Lernens* werden die Abhängigkeiten, die zwischen den Kernideen bestehen, durch rote und schwarze Pfeile gekennzeichnet. Ein roter Pfeil („roter Faden“) macht deutlich, dass die nachfolgende Idee nur entwickelt werden kann, wenn die vorhergehende Idee verstanden wurde. In Abbildung 3 ist als Beispiel dafür ein entsprechender Ausschnitt der Karte gezeigt.

logische  
Unterrichtsschritte

roter Pfeil =  
roter Faden

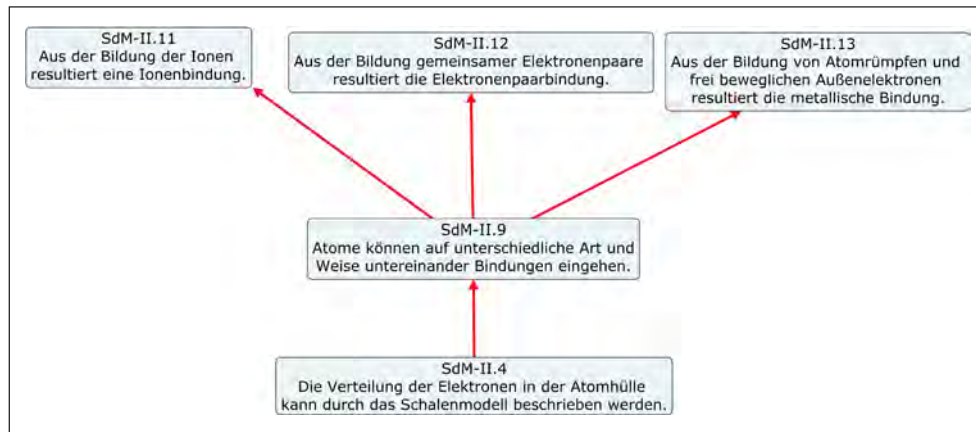


Abbildung 3: Darstellung eines „roten Fadens“ innerhalb des Basiskonzepts Struktur der Materie, Lernjahr II

In der nachfolgenden Abbildung 4 sieht man einen anderen Ausschnitt, in dem sowohl ein schwarzer Pfeil als auch rote Pfeile die Kernideen verbinden.

Ohne die Kenntnis der Kernidee „Atome können Ionen bilden“ können die Ideen „Salze sind aus Ionen aufgebaut“ und „Aus der Bildung von Ionen resultiert eine Ionenbindung“ nicht verstanden werden. Daher werden diese unmittelbaren Abhängigkeiten durch rote Pfeile dargestellt. Um die Erkenntnis aufzunehmen, dass Salze aus Ionen aufgebaut sind, ist das Wissen um die Ionenbindung nicht unbedingt notwendig, aber es besteht selbstverständlich ein deutlicher inhaltlicher Zusammenhang. Daher wird bei dieser Verknüpfung ein schwarzer Pfeil verwendet. Es muss allerdings festgestellt werden, dass sowohl die Verbindungen an sich als auch die Art der Verbindungen zwischen den Kernideen zunächst hypothetischer Natur sind und von der Projektgruppe anhand theoretischer Annahmen und der eigenen Unterrichtserfahrung getroffen wurden. In einem zweiten Schritt werden die angenommenen Zusammenhänge empirisch überprüft (siehe Kap. 4.) und ggf. überarbeitet.

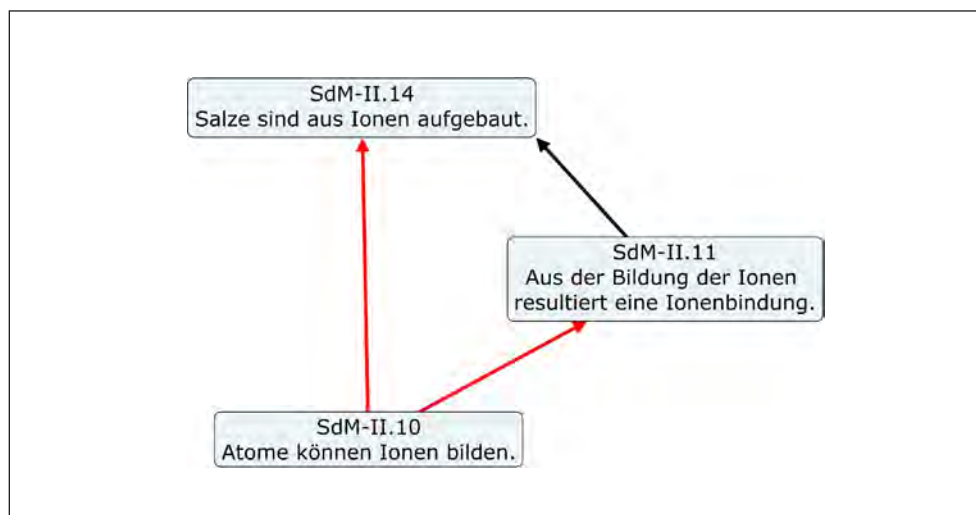


Abbildung 4: Darstellung von Kernideen, die durch rote und schwarze Pfeile innerhalb des Basiskonzepts Struktur der Materie, Lernjahr II verknüpft sind

## Diagnoseaufgaben – Konstruktion und Funktion

Um Aussagen über die Qualität der entwickelten *Landkarte des Lernens* sowie die Gültigkeit der hypothetischen Beziehungen zwischen den Kernideen treffen zu können, muss ein auf die Kernideen abgestimmter Leistungstest eingesetzt werden, der die Annahmen empirisch absichert. Zu jeder Kernidee gibt es Diagnoseaufgaben, um zu klären, inwieweit die Kernidee von den Lernenden bereits beherrscht wird oder nicht. Die Diagnoseaufgaben umfassen zwei mögliche Aufgabentypen:

- Multiple-Choice-Aufgaben, bestehend aus vier Antwortmöglichkeiten mit einer richtigen Antwortmöglichkeit (Attraktor) und drei falschen Antworten (Distraktoren) (siehe Abbildung 5)
- Halboffene Aufgaben, die eine kurze, offene Antwort erfordern (siehe Abbildung 6)

Ein Kilogramm Brot in einer dicht verschlossenen Tüte ist nach einer Woche verschimmelt und sieht so aus:



Wenn man die verschlossene Brottüte wiegt, kann man feststellen, dass ...

- die Brottüte leichter geworden ist, weil die Schimmelpilze das Brot zerstört haben.
- die Brottüte schwerer geworden ist, weil die Schimmelpilze auf dem Brot entstanden sind.
- das Gewicht der Brottüte sich nicht verändert hat, weil Schimmelpilze nichts wiegen.
- das Gewicht der Brottüte sich nicht verändert hat, weil weder Stoffe in die Tüte hineingelangen noch aus der Tüte herausgelangen können.

Abbildung 5: Beispiel einer Multiple-Choice-Aufgabe zur Kernidee Chemische Reaktion, Lernjahr I, Idee 3: *Bei chemischen Reaktionen ist die Masse der Ausgangsstoffe gleich der Masse der Endstoffe.*

1. Gib für das nebenstehende Element die Anzahl der Protonen an.

2. Ergänze sinnvoll:  
In einem Atom ist die Anzahl der Protonen gleich der Anzahl der ...

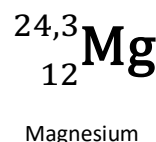


Abbildung 6: Beispiel einer halboffenen Aufgabe zur Kernidee Struktur der Materie, Lernjahr II, Idee 2: *Jedes Element wird durch die Anzahl seiner Protonen und Elektronen definiert.*

Um eine vergleichbare Formulierung aller Diagnoseaufgaben sicherzustellen, wurde eine Liste mit Kriterien erstellt, die standardisierte Gestaltungsmerkmale beschreibt (siehe Abbildung 7).

<p style="text-align: center;"><i>Checkliste: Wie muss eine gute Testaufgabe aussehen?</i></p> <p><i>Allgemeine Kriterien:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Einfache Satzkonstruktionen verwenden</li><li>– Substantivierungen vermeiden</li><li>– Verneinungen und doppelte Verneinungen vermeiden</li><li>– Fremdwörter/Fachbegriffe, die nicht Teil der Aufgabenanforderung sind, vermeiden</li><li>– Wichtige Begriffe hervorheben (Fettdruck, Unterstreichen)</li><li>– Eindeutige Gliederung vornehmen (Absätze)</li><li>– Funktionale Illustration verwenden (Verweis auf die Abbildung in der Aufgabenstellung, keine rein dekorativen Abbildungen)</li><li>– Logische Reihenfolge der Informationen in der Aufgabenstellung beachten</li><li>– Zusammenhang zwischen Sätzen sprachlich verdeutlichen (Konjunktionen, Satzteile aufeinander beziehen)</li><li>– Geringe Informationsdichte sicherstellen, zentrale Begriffe wiederholen</li><li>– Bei Multiple-Choice-Aufgaben eindeutig richtige oder eindeutig falsche Antwortmöglichkeiten formulieren</li><li>– Bei Multiple-Choice-Aufgaben kurze und prägnante Antwortmöglichkeiten wählen</li></ul>
---

Abbildung 7: Kriterien zur Aufgabengestaltung

## 2. Exemplarische Dokumentation von Materialien

Im Folgenden werden – ergänzend zu den oben im Text bereits erläuterten Beispielen – einige Beispiele für die entwickelten Materialien vorgestellt. Um ein möglichst eindeutiges Verständnis der Kernideen zu erhalten, sind deren Beschreibungen von besonderer Bedeutung. Ein vorgegebenes Formular stellt sicher, dass die Beschreibung aller Kernideen in identischer Weise vorgenommen wurde. Das folgende Beispiel bezieht sich auf die zweite Kernidee im Basiskonzept *Chemische Reaktion* des ersten Lernjahres.



Basiskonzept: Chemische Reaktion	Lernjahr I
<b>Idee 2:</b>	
Bei chemischen Reaktionen werden die Atome neu gruppiert.	
<b>Erwartungen:</b>	
Schülerinnen und Schüler wissen, dass ... <ul style="list-style-type: none"> <li>– eine chemische Reaktion stattfindet, wenn sich die Atome der Ausgangsstoffe/Edukte trennen und zu Endstoffen/Produkten neu anordnen.</li> <li>– die Atome sich während der chemischen Reaktion nicht verändern.</li> <li>– bei chemischen Reaktionen Ausgangsstoffe/Edukte zu unterschiedlich vielen Endstoffen/Produkten reagieren können.</li> </ul>	
<b>Grenzen:</b>	
Schülerinnen und Schüler müssen – bezogen auf diese Kernidee – nicht wissen, ... <ul style="list-style-type: none"> <li>– wie der Begriff Bindung definiert ist und können daher die Umgruppierung der Atome nicht mit Bindungsbruch und Bindungsbildung erläutern.</li> <li>– wie auf der Ebene der kleinsten Teilchen zwischen Molekül und Atom unterschieden wird.</li> </ul>	
<b>Gängige fehlerhafte Schülervorstellungen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Die Stoffe werden bei chemischen Reaktionen (vor allem bei Verbrennungen) unwiederbringlich zerstört (Vernichtungsvorstellung).</li> <li>– Bei einer chemischen Reaktion existieren die Stoffe weiter, es ändern sich nur einige Eigenschaften (Bsp. Rost = „rostiges Eisen“).</li> <li>– Die neuen Eigenschaften, die sich aus einer chemischen Reaktion ergeben, existieren bereits vorher in den Ausgangsstoffen/Edukten.</li> <li>– Chemische Reaktionen werden als mechanisches Mischen und Entmischen von Stoffen verstanden.</li> <li>– Neue Stoffe bestehen aus neuen kleinsten Teilchen (Bsp. „Rostteilchen“).</li> </ul>	

Abbildung 8: Beispiel für die Beschreibung einer Kernidee

Die entwickelten Kernideen wurden nach ihrer logischen Abfolge hierarchisch geordnet und mit Pfeilen verbunden. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt aus der *Landkarte des Lernens* für das Basiskonzept *Struktur der Materie*. Hier lässt sich gut erkennen, dass zunächst einige Kernideen in einer linearen Abfolge aufeinander aufbauen, bevor sich eine Aufgliederung in mehrere neue, parallel angeordnete Kernideen ergibt.

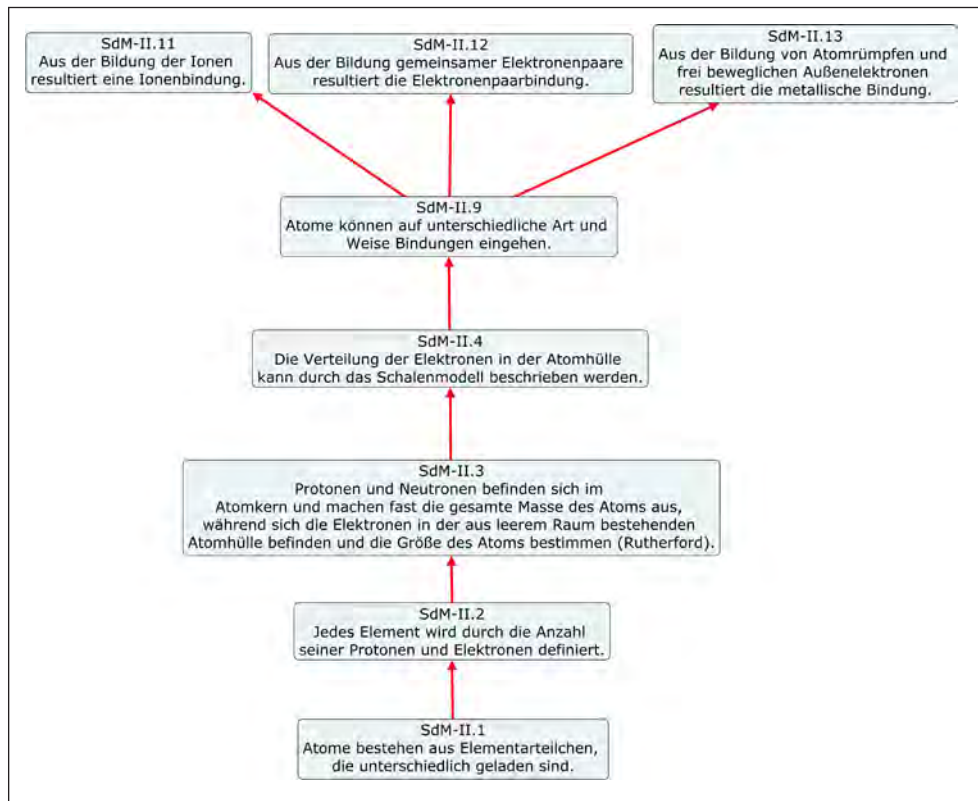


Abbildung 9: Darstellung eines „roten Fadens“ innerhalb des Basiskonzepts Struktur der Materie, Lernjahr II

Dabei können auch Kernideen aus unterschiedlichen Basiskonzepten miteinander verbunden sein, wie Abbildung 10 zeigt.

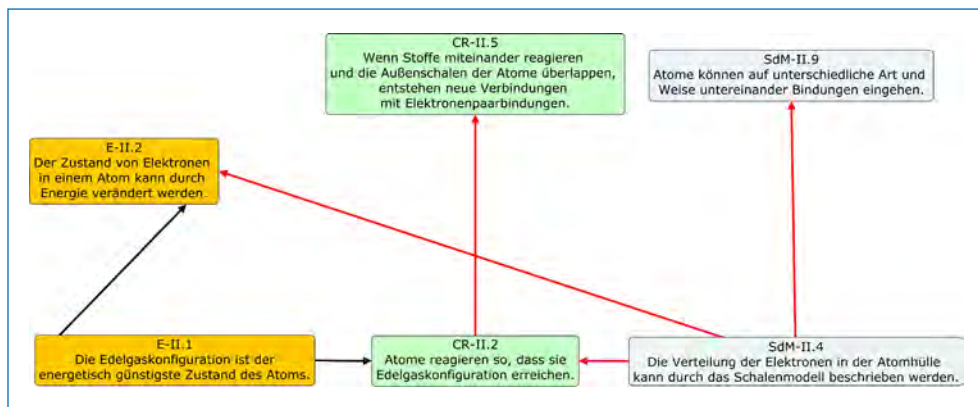


Abbildung 10: Vernetzung zwischen den Basiskonzepten



**Kernidee:** *Bei chemischen Reaktionen wird Energie freigesetzt oder aufgenommen.*

**Erwartungen:** Schülerinnen und Schüler wissen, dass ...

- eine chemische Reaktion, bei der Energie freigesetzt wird, exotherm genannt wird.
- eine chemische Reaktion, bei der Energie aufgenommen wird, endotherm genannt wird.
- bei einer exothermen Reaktion der Gehalt an Energie in den Produkten geringer als in den Edukten ist.
- bei einer endothermen Reaktion der Gehalt an Energie in den Produkten größer als in den Edukten ist.
- die Energiedifferenz z. B. in Form von Licht- und Wärmeenergie freigesetzt bzw. aufgenommen werden kann.

**Diagnoseaufgaben:**

1. Bei der Zubereitung von Spiegeleiern führst du ständig Wärme zu, bis das Eiweiß nicht mehr klar und flüssig, sondern fest und weiß ist. Welche Aussage ist richtig?
  - Dies ist eine exotherme Reaktion.
  - Dies ist eine endotherme Reaktion.
  - Dies ist keine chemische Reaktion.
  - Energie spielt bei diesem Vorgang keine Rolle.
2. Bei exothermen Reaktionen ist der Energiegehalt der Endstoffe geringer als derjenige der Ausgangsstoffe. Wo ist diese „fehlende“ Energie?
  - Die Energie hat reagiert.
  - Es ist Energie in Form von Licht und/oder Wärme freigesetzt worden.
  - Die Energie ist verbrannt worden.
  - Es ist Energie in Form von Licht und/oder Wärme aufgenommen worden.

Abbildung 12: Beispiel für zwei Diagnoseaufgaben im Basiskonzept Energie

### 3. Erkenntnisse aus der Arbeit mit der Landkarte des Lernens

Wenn man sich mit der Landkarte des Lernens beschäftigt und sie für die Planung und Evaluation des Unterrichts einsetzt, ergeben sich weitere Erkenntnisse für den eigenen Unterricht, die in diesem Kapitel dargestellt werden.

#### Zentralität im Lernprozess und im Unterricht

Die explizite Formulierung und Festlegung von Kernideen führen zu einer anderen Auseinandersetzung mit dem eigenen Unterricht. Bei der Planung steht weniger die Abfolge bestimmter inhaltlicher Beispiele im Vordergrund, sondern vielmehr eine am Verständnisprozess der Schülerinnen und Schüler orientierte Anordnung zentraler Vorstellungen und Konzepte des Fachs Chemie.

Aber ist jede Idee auch eine Kernidee? Bei der Vernetzung der Kernideen zur Landkarte des Lernens stellte sich heraus, dass einzelne Ideen, die üblicherweise im Unterricht behandelt werden, kaum in Abhängigkeit zu anderen Kernideen stehen. Dies wurde als ein deutliches Indiz interpretiert, dass derartige Lerninhalte keine „Kernideen“ im Sinne eines anschlussfähigen Lernens darstellen. Ein Beispiel hierfür ist die zunächst formulierte Idee zum Basiskonzept Chemische Reaktion im Lernjahr II: *Elektrochemische Reaktionen finden in industriellen Verfahren praktische Anwendung*. Diese Idee konnte nicht durch rote oder schwarze Pfeile sinnvoll mit anderen Kernideen vernetzt werden. Daher wurde sie nicht als *Kernidee* in die Karte aufgenommen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Idee sich nicht gewinnbringend im Unterricht einsetzen lässt oder dass sie generell unwichtig ist. Nicht vernetzte Ideen können z. B. eine besonde-

re Bedeutung für andere Kompetenzbereiche haben oder aber zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal bedeutsam werden. Die bisherige Landkarte des Lernens berücksichtigt ausschließlich die ersten beiden Lernjahre im Fach Chemie, wird aber in einem weiteren Schritt kontinuierlich erweitert, sodass ggf. später relevant werdende Verknüpfungen noch ergänzt werden. Was sich aber sehr gut an der Landkarte des Lernens ablesen lässt, ist, welche Ideen für den Aufbau fachlicher Konzepte im betrachteten Zeitraum besonders zentral sind oder einen „roten Faden“ bilden und daher unbedingt verstanden werden müssen, um ein anschlussfähiges Wissen zu erwerben.

**anschlussfähiges  
Wissen**

Die Landkarte des Lernens verdeutlicht entsprechend die Bedeutung einzelner Kernideen im Lernprozess der Schülerinnen und Schüler. Einige Ideen stellen sozusagen eine Art „Endpunkt“ in der Karte dar, beispielsweise die Kernidee Struktur der Materie, Lernjahr I, Idee 10 (*Stoffe lassen sich mischen und Stoffgemische wieder in Reinstoffe trennen*), da von dieser Kernidee keine weiteren Pfeile abgehen.

In der Unterrichtspraxis nimmt die Thematisierung der Stofftrennung in der Regel, auch zeitlich gesehen, einen großen Stellenwert ein. Dies kann durch das Potenzial zur Förderung im Bereich der prozessbezogenen Kompetenzen gerechtfertigt werden. Aus der Perspektive des Aufbaus anschlussfähigen Fachwissens oder der Vernetzung grundlegender Konzeptionen für das Fach Chemie spielt sie allerdings nur eine untergeordnete Rolle.

Ebenso gibt es Kernideen, die im Sinne eines „roten Fadens“ nur wenige Verknüpfungen zu weiterführenden Ideen haben (Beispiel: Struktur der Materie, Lernjahr II, Idee 13: *Aus der Bildung von Atomrümpfen und frei beweglichen Außenelektronen resultiert die metallische Bindung*). Hier ist nur eine Verknüpfung zum Bereich Elektrochemie des dritten Lernjahres möglich, (fachübergreifend jedoch zu wichtigen Konzepten der Physik und der Technik). Diese Kernideen sind für den weiteren Lernprozess zwar von Bedeutung, weisen jedoch nicht dieselbe Tragweite auf wie andere Ideen (Beispiel: Struktur der Materie, Lernjahr II, Idee 12: *Aus der Bildung gemeinsamer Elektronenpaare resultiert die Elektronenpaarbindung*), die aufgrund ihrer hochgradigen Vernetzung im Lernprozess eine zentrale Rolle einnehmen. Nachfolgender Wissenserwerb ist ohne ein Verständnis dieser Ideen nicht möglich. Im Unterricht muss daher auf die Vermittlung dieser zentralen Ideen besonders Wert gelegt werden, weil sie Voraussetzung für weiteres anschlussfähiges Wissen sind.

**Kernideen**

### Entscheidungen zur Reihenfolge der Kernideen und zu Konzepten

Im Vernetzungsprozess wurde deutlich, dass in der Regel eine eindeutige Abfolge der Kernideen beschrieben werden kann, wobei die angenommenen Beziehungspfeile aktuell empirisch geprüft werden. In seltenen Fällen sind allerdings auch verschiedene Strukturierungen des Lernprozesses und damit verbunden unterschiedliche Abfolgen der Kernideen möglich.

**Abfolge der  
Kernideen**

Zum Beispiel kann ausgehend von der Kernidee *Struktur der Materie-II.3* die Kernidee *Struktur der Materie-II.7* über den direkten Weg erreicht werden oder aber über den Umweg über die Kernidee *Struktur der Materie-II.4* (siehe Abbildung 13).

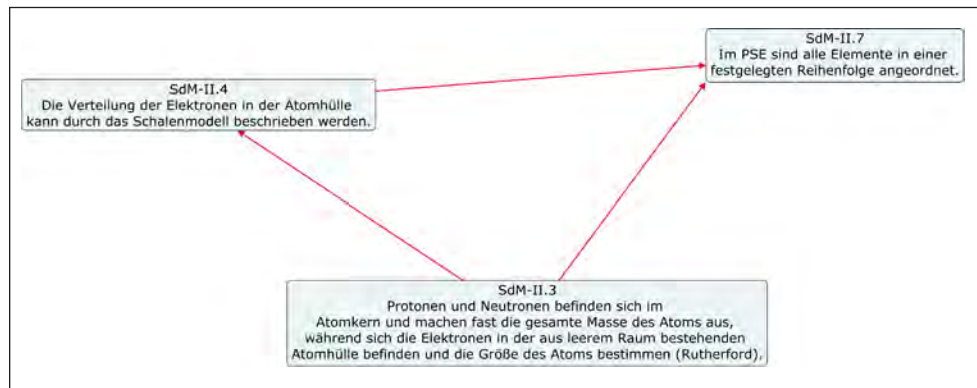


Abbildung 13: Kernideen zur Struktur der Materie

Insgesamt stellt die Landkarte des Lernens einen Vorschlag für ein sinnvolles Vorgehen im Hinblick auf die Abfolge zentraler Vorstellungen und Konzepte dar, was aber nicht bedeutet, dass diese inhaltlich nicht individuell ausgestaltet werden können. Die Netzkarte kann folglich dazu benutzt werden, die bisherige Vorgehensweise im Unterricht kritisch zu reflektieren oder aber auch dazu dienen, Schülerinnen und Schülern Zusammenhänge explizit aufzuzeigen.

Die Landkarte des Lernens soll so zu einer kritischen Betrachtung bei der Einführung bestimmter Konzepte anregen. Zum Beispiel ist der Zeitpunkt zur Einführung der Atomvorstellung im Verlauf des ersten Lernjahres diskussionswürdig. In der Landkarte des Lernens wird eine sehr frühe Einführung des Konzepts „Atom“ im Zusammenhang mit der chemischen Reaktion abgebildet. Theoretisch ist aber auch die Verwendung einer Vorstufe z. B. durch „Teilchen“, „Stoffteilchen“ oder „Bausteine der kleinsten Teilchen“ denkbar. Allerdings bringt die Verwendung des Teilchen-Konzepts zur Interpretation chemischer Reaktionen weitere Probleme mit sich und wird daher fachdidaktisch kontrovers diskutiert. Hier kann die Landkarte einen Beitrag zur eigenen Standortbestimmung leisten.

#### 4. Schlussfolgerungen, Diskussion und Perspektiven

Die *Landkarte des Lernens* ist kein abgeschlossenes Produkt, vielmehr befindet sie sich noch in einem Entwicklungs- und Überprüfungsprozess, mit dem sich eine weitere SINUS-Projektphase bis zum Jahr 2020 beschäftigen wird. Aus zeitlichen Gründen wurde die *Landkarte des Lernens* zunächst auf die ersten beiden Jahre des Chemieunterrichts begrenzt. Inhaltlich bilden – strukturiert durch den Kernlehrplan – allerdings die ersten drei Jahre des Chemieunterrichts bis zum Mittleren Schulabschluss eine inhaltliche Einheit. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die bestehende *Landkarte des Lernens* auf das dritte Jahr des Chemieunterrichts auszuweiten, sodass eine vollständige Übersicht der Kernideen für die Sekundarstufe I zur Verfügung steht.

empirische  
Prüfung

Neben der Weiterentwicklung soll auch eine empirische Prüfung der in der *Landkarte des Lernens* dargestellten Abhängigkeiten ein Bestandteil der weiteren Projektphase sein. Die dargestellten Abhängigkeiten durch rote bzw. schwarze Pfeile sind bisher noch hypothetisch und beruhen ausschließlich auf dem Erfahrungswissen der Projektgruppe. Um belastbare Erkenntnisse über die Richtigkeit dieser Annahmen und über den Nutzen der Netzkarte für den Lernerfolg bzw. für den Erwerb von Kompetenzen zu erhalten, müssen diese

Abhängigkeiten im Hinblick auf ihre empirische Gültigkeit geprüft werden. Zu diesem Zweck werden zwei verschiedene Evaluationsschritte durchgeführt. Zum einen werden die zu den Kernideen gehörigen Diagnoseaufgaben in verschiedenen Lernjahren eingesetzt, um so den Kompetenzerwerb der Schülerinnen und Schüler abbilden zu können. Anhand der gelösten bzw. nicht gelösten Diagnoseaufgaben kann geprüft werden, ob die Kenntnis bestimmter Kernideen tatsächlich eine notwendige Voraussetzung für den Erwerb folgender Kernideen ist. Zum anderen soll die *Landkarte des Lernens* in einer Feldstudie über einen Zeitraum von einem Schuljahr in mehreren Lerngruppen an unterschiedlichen Schulen als Planungshilfe eingesetzt werden. Die Lernentwicklung der Schülerinnen und Schüler dieser Klassen wird anschließend mit der Entwicklung von geeigneten Kontrollklassen verglichen. Begleitet wird dieser Prozess von der Fachdidaktik Chemie an der Universität Duisburg-Essen. Im Anschluss daran findet eine Überarbeitung der Netzkarte bzw. der Abhängigkeiten zwischen den Kernideen aufgrund der empirischen Befunde statt.

### Evaluationsschritte

*Exkurs: Wissenschaftliche Vorgehensweise zur Überprüfung der Landkarte des Lernens:*

Die Aufgaben werden, bevor sie zur Evaluation der *Landkarte des Lernens* eingesetzt werden, zunächst in einer Pilotstudie auf ihre Qualität im Hinblick auf eine angemessene Schwierigkeit und ihre Reliabilität geprüft.

In der Pilotstudie werden zwei Messzeitpunkte realisiert, um eine möglichst große Leistungsbreite unter den Schülerinnen und Schülern abbilden zu können. Dazu werden ca. je 250 Schülerinnen und Schüler des ersten und zweiten Lernjahres zum Schuljahresende getestet. Da kein Schüler alle 300 Diagnoseaufgaben bearbeiten kann, wird ein sogenanntes Balanced Incomplete Block Design umgesetzt, indem ein Schüler bzw. eine Schülerin immer nur die Aufgaben zu einem bestimmten Ausschnitt (Block) aus der *Landkarte des Lernens* erhält. Ziel ist es, auf diesem Weg ca. 70 Antworten pro Diagnoseaufgabe zu erhalten. Die erste Datenerhebung zur Prüfung der Qualität der Diagnoseaufgaben erfolgte im Sommer 2017 und wird derzeit noch ausgewertet. In der anschließenden zweiten Datenerhebung im Schuljahr 2017/18 wird der ggf. überarbeitete Fachwissenstest zu drei Messzeitpunkten (Schuljahresbeginn / -mitte / -ende) eingesetzt, um die hypothetischen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Kernideen zu untersuchen. Hier werden pro Beziehung zwischen zwei Kernideen Testdaten von ca. 100 Schülerinnen und Schülern erhoben. Folgt man der Annahme, dass zwischen zwei Kernideen „A“ und „B“ eine Abhängigkeit besteht, lösen im Idealfall alle Schülerinnen und Schüler, die die Aufgaben zur Kernidee „B“ richtig gelöst haben, auch die Aufgaben zu Kernidee „A“. In diesem Fall wäre die angenommene Beziehung bestätigt. Im anderen möglichen Extremfall löst keine/-r der Schülerinnen und Schüler, die die Aufgaben zu Kernidee „B“ gelöst haben, die Aufgaben zur Kernidee „A“, wodurch die Abhängigkeit zwischen den Kernideen widerlegt wäre. Natürlich sind auch Mischfälle zu erwarten, die über einen Schwellenwert entschieden werden. Die angenommenen Beziehungen sollen anhand statistischer Methoden wie der Cross-Lagged-Panel-Analyse (Vorhersage der Leistung zu einem späteren Zeitpunkt auf Basis der Daten zu einem früheren Zeitpunkt), des McNemar-Tests (Verteilung der Personen auf Gruppen von „Lösern“ und „Nicht-Lösern“ einer Aufgabe) und von Bayes'schen Netzen (Prüfung der hierarchischen Struktur des Gesamtnetzes) überprüft werden.

### Pilotstudie

Um Lehrkräften neben der *Landkarte des Lernens* auch konkrete Anregungen zur Vermittlung der Kernideen geben zu können, sollen im weiteren Projektverlauf zu ausgewählten Kernideen zusätzliche Impulse für den Unterricht entwickelt werden, die dann als Begleitmaterial zur Netzkarte veröffentlicht werden. Diese Impulse stehen selbstverständlich im Zusammenhang mit dem Kernlehrplan, die entsprechenden Bezüge werden ausgewiesen.

Der bisherige Fokus der *Landkarte des Lernens* lag auf der Darstellung vernetzter grundlegender Kompetenzen, die für den Erwerb eines anschlussfähigen Wissens unabdingbar sind. Dies war insbesondere durch das schlechte Abschneiden der nichtgymnasialen Schulformen im Ländervergleich motiviert. Durch eine Erweiterung und stärkere Ausdifferenzierung der bestehenden *Landkarte des Lernens* in Bezug auf unterschiedliche Leistungsniveaus könnte eine universellere Verwendbarkeit der Karte, z. B. auch für das Gymnasium, sichergestellt und es könnten zugleich auch Möglichkeiten zur Differenzierung geschaffen werden.

## Literatur

- Abbott, S. (2014). *The Glossary of Education Reform*. Learning Progression. Verfügbar unter <http://www.edglossary.org/learning-progression/> [20.03.2018].
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (2007). *Atlas of Science Literacy*. Volume 2. Washington, DC: AAAS.
- Pant, H. A., Stanat, P., Schroeders, U., Roppelt, A., Siegle, T. & Pöhlmann, C. (Hrsg.) (2013). *IQB-Ländervergleich 2012: Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I*. Münster: Waxmann.

## Projektgruppe

Prof. Dr. Maik Walpuski, Fachdidaktik der Universität Duisburg-Essen  
 Kübra Celik, Fachdidaktik der Universität Duisburg-Essen  
 Ines Op de Hipt, Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen  
 Mattias Otto, Bezirksregierung Düsseldorf  
 Jens Austermann, QUA-LiS NRW  
 Christin Theyßen, ZfsL Duisburg  
 Veronika Wolters, Gesamtschule Nettetal  
 Birgit Hegemann, Robert-Schuman-Europaschule Willich  
 Alexander Rother, Robert-Schuman-Europaschule Willich  
 Angelika Schwarz, Anne-Frank-Gesamtschule Rheinkamp / Moers  
 Michael Schön, Anne-Frank-Gesamtschule Rheinkamp / Moers  
 Sarah Schiemenz, Gesamtschule Duisburg Meiderich

Ein besonderer Dank gilt Hartmut Melzer, der das Projekt initiiert und zunächst geleitet hat, aber während der Projektphase pensioniert wurde.