



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Qualitätsanalyse von Lernmaterialien aus dem Internet zu den Themen Differentialrechnung und Quadratische Funktionen

Verfasser

Florian Reischl

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 190 406 884

Studienrichtung lt. Studienblatt: Lehramtsstudium UF Mathematik UF Informatik und
Informatikmanagement

Betreuer: Dr. Christoph Ableitinger

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich einer Reihe von Menschen meinen Dank aussprechen.

Danke an meine Eltern und meine Tante, die mir durch ihre langjährige Unterstützung diesen Ausbildungsweg ermöglicht haben.

Danke an meinen Betreuer, Dr. Christoph Ableitinger, für die nette und freundliche Zusammenarbeit während des gesamten Schreibprozesses. Durch seine kompetente Unterstützung und seine hilfreichen Ratschläge hat er viel zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen.

Danke an meinen ehemaligen Mathematiklehrer, Prof. Mag. Nikolaus Stelzer, der es mir ermöglicht hat, die im Rahmen dieser Diplomarbeit notwendigen Untersuchungen in der Schule durchzuführen.

Danke an Claudia, Patrick, Kathi, Martin, Valentin, Lisa, Lisa, Maggie, Erwin, Petra und viele andere Studienkolleginnen und -kollegen, die ich während des Studiums kennenlernen durfte. Durch sie wurde das Studium zu einer unvergesslichen, schönen Zeit mit vielen großartigen Erinnerungen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	7
2. Standortbestimmung und Motivation.....	7
3. Begriffsbestimmungen.....	9
3.1 Lernpfad.....	9
3.2 Applet.....	9
4. Legitimation und Mehrwert des Computereinsatzes im Mathematikunterricht	11
5. Klassische Lerntheorien und ihre Bedeutung für computergestützte Lernprogramme.....	14
5.1 Behaviorismus.....	14
5.2 Kognitivismus.....	17
5.3 Konstruktivismus.....	21
5.4 Fazit.....	22
6. Informationsverarbeitung beim Lernen.....	25
6.1 Das Arbeitsgedächtnis.....	26
7. Multimediale Informationsverarbeitung und Lernprozesse im Umgang mit Neuen Medien.....	29
7.1 Theorie der Dualen Kodierung von Alan Paivio.....	29
7.2 Die kognitive Theorie des multimedialen Lernens von Richard E. Mayer.....	30
8. Kohärenzbildung.....	34
9. Kognitive Beanspruchung beim Lernen mit Medien – Cognitive Load Theory.....	36
9.1 Intrinsic cognitive load.....	36
9.2 Extraneous cognitive load.....	37
9.3 Germane cognitive load.....	38
10. Förderung der Kohärenzbildung.....	41
10.1 Reduzierung des extraneous cognitive load.....	41
10.2 Erhöhung des germane cognitive load.....	41
11. Gestaltungsprinzipien zur Reduktion der kognitiven Beanspruchung.....	43
12. Analyse der Lernmaterialien aus dem Internet.....	48
12.1 Auswahl der Lernmaterialien.....	48

12.2 Vorgehen bei der Analyse.....	49
12.3 Differentialrechnung.....	53
12.3.1 www.mathe-online.at	53
Steigungen in der Landschaft.....	55
Ableitungs-Puzzle 1,2,3	60
Das große Ableitungspuzzle	64
12.3.2 tube.geogebra.org	68
Differentialrechnung – Wendepunkte – Sachsenringkurve.....	68
12.3.3 www.matheprisma.de	74
Ableitung – So wird man zum Blitz-Ableiter von Funktionen	74
12.4 Quadratische Funktionen	85
12.4.1 www.schoett-web.de	85
Lernpfad: Quadratische Funktionen	85
12.4.2 wikis.zum.de	94
Quadratische Funktionen – Lernpfad	94
12.4.3 www.juergen-roth.de	105
Parabeln – Graphen quadratischer Funktionen	105
13. Untersuchung in der Schule	113
13.1 Rahmenbedingungen.....	113
13.2 Beschreibung der Durchführung	114
13.3 Ergebnisse 5. Klasse	116
13.4 Ergebnisse 7. Klasse	126
13.5 Resümee.....	132
14. Literaturverzeichnis.....	134
15. Internetressourcen.....	136
16. Abbildungsverzeichnis.....	138
Anhang.....	139
Abstract.....	143
Lebenslauf.....	144

1. Einleitung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Qualitätsanalyse von Lernmaterialien aus dem Internet. Besonders für Mathematik existiert eine Unmenge an verschiedenen Online-Lernmaterialien. Das machte eine Einschränkung auf wenige ausgewählte Themenbereiche unerlässlich. Die Auswahl fiel dabei auf die beiden Themen „Differentialrechnung“ und „Quadratische Funktionen“. Der Grund dafür lag in der im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführten Untersuchung in der Schule. Es wurden eine 7. und eine 5. Klasse AHS für die Untersuchung zur Verfügung gestellt, weshalb je ein Thema dieser Jahrgangstufen ausgewählt wurde.

Zunächst werden eine Standortbestimmung und eine kurze Definition der Begriffe Lernpfad und Applet durchgeführt, bevor der Frage nach der Legitimation des Computereinsatzes im Mathematikunterricht nachgegangen wird. Im Anschluss daran werden die theoretischen Grundlagen für den Hauptteil dieser Diplomarbeit, die Analyse der Lernmaterialien, erarbeitet. Diese Grundlagen umfassen unter anderem die drei klassischen Lerntheorien, Informationsverarbeitungsprozesse beim Lernen sowie die Cognitive Load Theory. Anhand dieser theoretischen Elemente werden Kriterien für die Analyse der Lernmaterialien abgeleitet. Danach erfolgt die Qualitätsanalyse von mehreren Materialien zu den einzelnen Themengebieten. Den Abschluss dieser Diplomarbeit bildet die Darstellung der Ergebnisse der Untersuchung in der Schule. Ziel dieser Untersuchung war es, herauszufinden, ob sich die Ergebnisse der Analyse im Verhalten und in den Einschätzungen der Schülerinnen und Schüler widerspiegeln, nachdem sie eine Unterrichtseinheit mit einem der analysierten Lernmaterialien gearbeitet hatten.

2. Standortbestimmung und Motivation

Im Zeitalter der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) wird es auch für die Schule immer wichtiger, die neuen Technologien im Unterricht einzubauen. Insbesondere bieten die neuen Technologien für den Mathematikunterricht große Möglichkeiten. Im Ergebnisbericht der PISA-Studie 2012 wird darauf hingewiesen, dass *„die Nutzung von Computern in vielen Bereichen des täglichen Lebens, am Arbeitsplatz oder in der Wissenschaft allgegenwärtig ist und Computer eine Vielzahl an Werkzeugen („Tools“) für Berechnungen, Repräsentationen, Visualisierungen*

sowie das Erforschen von und Experimentieren mit mathematischen Objekten, Phänomenen und Prozessen bieten [...]. Mathematikkompetenz im 21. Jahrhundert beinhaltet auch die Verwendung des Computers und den Umgang mit elektronischen Werkzeugen.“ (Schreiner et al. 2014, S. 6)

In der mathematikdidaktischen Forschung ist deshalb das Thema IKT bereits seit vielen Jahren ein wichtiger Aspekt. Auch die Arbeitsgruppe für *Didaktik der Mathematik* der Universität Wien bearbeitet den Themenbereich „Neue Technologien im Mathematikunterricht – praktische und theoretische Probleme, Lernpfade, E-Learning“. Diesem Gebiet der mathematikdidaktischen Forschung ist auch diese Diplomarbeit zuzuordnen.

Meine persönliche Motivation zu dem Thema hat sich langsam entwickelt. Zunächst studiere ich im Zweifach „Informatik und Informatikmanagement“, wodurch ein gewisses Interesse an der Arbeit mit dem Computer vorhanden ist. Durch Gespräche mit Dr. Christoph Ableitinger über mögliche Themen im Zusammenhang mit Computereinsatz in Mathematik entstand die Idee einer Qualitätsanalyse verschiedener Lernmaterialien aus dem Internet. Bei intensiverer Auseinandersetzung mit dem Thema wurde auch das Interesse immer größer. Durch die freie Zugänglichkeit des Internets kann jeder Mensch Beiträge online stellen. Dies gilt natürlich auch für Lernmaterialien. Dadurch entsteht die Problematik, dass auch qualitativ nicht hochwertige Lernmaterialien im World Wide Web kursieren. Selbst wenn die dargebotenen Inhalte allesamt mathematisch korrekt und einwandfrei sind, kann durch eine schlechte Darstellung der Inhalte der Lernprozess unnötig erschwert werden.

Dadurch ergab sich die Zielsetzung für diese Diplomarbeit. Es soll die Darstellung der Inhalte mehrerer Lernmaterialien für ausgewählte Themenbereiche des Mathematikunterrichts untersucht und analysiert werden. Die Grundlage für die Analyse sollten Verarbeitungsprozesse neuer Informationen im Gedächtnis beim Lernen allgemein, sowie insbesondere beim Lernen mit Medien, darstellen.

3. Begriffsbestimmungen

Bevor die theoretischen Grundlagen für die Analyse erarbeitet werden, werden zwei Begriffe näher erläutert, die untrennbar mit Lernmaterialien aus dem Internet in Verbindung stehen und auch für diese Diplomarbeit eine Rolle spielen.

3.1 Lernpfad

Es existiert keine eindeutige Definition eines Lernpfads und was einen Lernpfad charakterisiert. Deshalb gibt es auch sehr viele verschiedene Formen von Lernpfaden, was den Aufbau und das angestrebte Lernerverhalten betrifft. (vgl. Ruppert 2013, S. 82)

In der Literatur finden sich viele verschiedene Definitionen und Charakteristika von Lernpfaden. Einen guten Überblick dazu liefert Jürgen Roth in einer seiner Publikationen zu Lernpfaden. (Roth, 2014)

Er selbst definiert einen Lernpfad folgendermaßen: *„Ein Lernpfad ist eine internet-basierte Lernumgebung, die mit einer Sequenz von aufeinander abgestimmten Arbeitsaufträgen strukturierte Pfade durch interaktive Materialien (z.B. Applets) anbietet, auf denen Lernende handlungsorientiert, selbsttätig und eigenverantwortlich auf ein Ziel hin arbeiten. Da die Arbeitsaufträge eine Bausteinstruktur aufweisen, können die Lernenden jeweils für ihren Leistungsstand geeignete auswählen. Durch individuell abrufbare Hilfen und Ergebniskontrollen sowie die regelmäßigen Aufforderungen zum Formulieren von Vermutungen, Experimentieren, Argumentieren sowie Reflektieren und Protokollieren der Ergebnisse in den Arbeitsaufträgen wird die eigenverantwortliche Auseinandersetzung mit dem Lernpfad explizit gefördert.“* (Roth, Wiesner 2014, S. 1003-1004)

3.2 Applet

Das Wort „Applet“ setzt sich aus den beiden Wörtern „Application“ und „Snippet“ zusammen. „Application Snippet“ bedeutet zu Deutsch „Anwendungsschnipsel“. Dadurch soll signalisiert werden, dass es sich bei einem Applet um ein *kleines* Computerprogramm handelt. Dieses wird über das Internet geladen und im Webbrowser am Rechner des Anwenders lokal ausgeführt. (vgl. [selfhtml], [Java 7])

Bei den meisten Applets handelt es sich um Java-Applets. Wie der Name verrät, sind diese Applets mit der Programmiersprache Java erstellt worden. In letzter Zeit ist es vermehrt zu größeren Sicherheitsproblemen mit Java gekommen, weshalb neuere interaktive Elemente in Webseiten vor allem mit JavaScript erstellt werden (JavaScript hat trotz des Wortes „Java“ im Namen kaum etwas mit Java zu tun.). Es gibt auch noch weitere Gründe, die für die immer seltenere Verwendung von Java-Applets sprechen, die an dieser Stelle aber nicht näher ausgeführt werden (nachzulesen in [Java 7] 15.1.1).

4. Legitimation und Mehrwert des Computereinsatzes im Mathematikunterricht

Im Lehrplan für Mathematik der AHS-Oberstufe wird im Punkt „Didaktische Grundsätze“ speziell vermerkt, dass der Einsatz elektronischer Medien sowie des Internets im Mathematikunterricht vorzusehen ist. Der Einsatz von Computeralgebra-Systemen und anderer mathematischer Software-Produkte wird als unverzichtbar bezeichnet.

„Lernen mit medialer Unterstützung

Die Beschaffung, Verarbeitung und Bewertung von Informationen hat auch mit Büchern (z.B. dem Schulbuch), Zeitschriften und mit Hilfe elektronischer Medien zu erfolgen. Nutzen und Problematik mathematischer Inhalte und Lernhilfen im Internet sind hier zu thematisieren.[...]

Lernen mit technologischer Unterstützung

Mathematiknahe Technologien wie Computeralgebra-Systeme, dynamische Geometrie-Software oder Tabellenkalkulationsprogramme sind im heutigen Mathematikunterricht unverzichtbar. Sachgerechtes und sinnvolles Nutzen der Programme durch geplantes Vorgehen ist sicherzustellen. [...] ([LP], S. 3)

Neben diesen beiden konkreten Ausschnitten aus dem Lehrplan wird auch noch in zahlreichen weiteren Stellen die Verwendung der Mittel der Informationstechnologie eingefordert. Dadurch wird der Einsatz des Computers im Unterricht gesetzlich vorgeschrieben. Das Ausmaß des Einsatzes ist allerdings jeder Lehrkraft selbst überlassen.

Nicht nur der gesetzliche Aspekt soll den Computereinsatz im Mathematikunterricht legitimieren. Durch den richtigen Einsatz des Computers ergeben sich viele neue Möglichkeiten für einen zeitgemäßen Unterricht.

„Mathematische Software erlaubt es, Erfahrungen zu machen, die dem mathematischen Regelwerk folgen, ohne dass der Lernende diese bewusst erfasst haben muss. Indem er experimentiert und ausprobiert, stößt er an die Grenzen des Regelwerks, die so nicht nur logisch und abstrakt zu erfassen sind, sondern

unmittelbaren Einfluss auf die Begriffsbildung und ihre visuellen Repräsentationen haben können. [...] Zudem sind solche Erfahrungen Anlass, in einem zweiten Schritt nach den beschränkenden Bedingungen zu fragen – kurz: Sie regen zu mathematischen Begründungstätigkeiten an.“ (Pinkernell 2011, S. 42)

Dieses Zitat von Guido M. Pinkernell beschreibt mehrere Vorteile des Einsatzes von Computern im Mathematikunterricht. Durch Applets, Visualisierungen oder andere dynamische Objekte verlieren mathematische Objekte ihren rein abstrakten Charakter und es können anschauliche Repräsentationen gebildet werden. Durch das Probieren und Experimentieren kann die Theorie mit einer visuellen Darstellung verbunden werden. Hierbei muss allerdings darauf geachtet werden, dass die Schülerinnen und Schüler die jeweilige multimediale Darstellung auch tatsächlich mit der Theorie in Verbindung bringen können. Sie müssen lernen, dass die unterschiedlichen Repräsentationen zueinander in Beziehung stehen. Um den Gesamtsachverhalt gut verstehen zu können, müssen sowohl die einzelnen Repräsentationen als auch deren Relationen zueinander verstanden worden sein. Dieser Prozess der Kohärenzbildung beim Lernen mit multiplen Repräsentationen wird an späterer Stelle (Kapitel 8) noch genauer behandelt.

Ein weiterer Vorteil, den Pinkernell erwähnt, ist die Möglichkeit, dass solche Auseinandersetzungen mit dem aktuellen Stoffgebiet am Computer zu mathematischen Begründungstätigkeiten anregen können. Es können mathematische Gesetzmäßigkeiten entdeckt und verifiziert werden. Vor allem Applets und Dynamische Geometrie-Software (DGS) bieten viele Möglichkeiten für handlungsorientierte, visuelle Beweise. Die binomischen Formeln, der Satz von Pythagoras sowie viele weitere Sätze der elementaren Geometrie lassen sich durch den Einsatz von DGS sehr gut veranschaulichen und nachvollziehen (vgl. Elschenbroich 2009).

Franz Embacher von der Universität Wien sieht speziell im Arbeiten mit Lernpfaden mehrere Vorteile: Der Einsatz von Lernpfaden erleichtert selbstgesteuertes, eigenverantwortliches Lernen und projektartigen Unterricht. Auf die Lerninhalte kann jederzeit und von überall zugegriffen werden. Dadurch werden Elemente des Fernlernens unterstützt (Projektunterricht, Prüfungs- und Maturavorbereitung, eigenständiges Wiederholen, Nachlernen von Versäumtem, Nachlernen von Stoff bei

Klassenwechsel sowie Nachlernen von Stoff in einem späteren Bildungsweg wie Universität oder Fachhochschule). Durch das selbstgesteuerte Lernen mit Lernpfaden wird außerdem die Ausbildung von weiteren Kompetenzen gefördert. Die Schülerinnen und Schüler setzen sich mit der mathematischen Begriffswelt auseinander und erlernen die Fähigkeit, über Mathematik sprechen zu können. Sie lernen, Fehler zu erkennen sowie mathematische Vorstellungen unabhängig von Medien, Werkzeugen und Methoden zu entwickeln. Außerdem wird die soziale Kompetenz der Schülerinnen und Schüler gefördert, indem sie sich gegenseitig Hilfe leisten. (vgl. Embacher 2004, S. 2-3)

Michael Kerres von der Universität Duisburg warnt in einer Publikation allerdings davor, sich durch den Einsatz des Computers eine „Revolution für den Bildungssektor“ zu erwarten. Es kann zwar zu einer Steigerung der Lernmotivation kommen, dieser Effekt kann allerdings von nur kurzer Dauer sein. Wenn ein Lernangebot noch dazu falsch gestaltet ist und die Bearbeitung als zu einfach oder zu schwierig angesehen wird, so kann sich die Lernleistung gegenüber herkömmlichen Lernformen sogar verringern. Auch das Argument eines erhöhten Lernerfolgs durch computergestützte Lernmethoden ist für Kerres nicht zulässig. Laut einer Vielzahl an empirischen Studien schneidet das Lernen mit Medien im Durchschnitt weder besser noch schlechter ab als herkömmlicher Unterricht. (vgl. Kerres 2002, S. 187)

Computergestützter Unterricht darf folgedessen nicht als Ersatz für konventionelle Unterrichtsformen gesehen werden. Wenn die Lerninhalte auf die gleiche Art und Weise am Computer wie im Regelunterricht präsentiert werden, ergibt sich kein leistungsförderlicher Effekt. Der Computereinsatz soll als zusätzliche Unterrichtsmethode gesehen werden, für die die Inhalte in einer eigenen Form aufbereitet dargeboten werden müssen. Der Einsatz der digitalen Medien ermöglicht dadurch ein *anderes* Lernen. *„Der Einsatz digitaler Medien ermöglicht Lernszenarien, die heutigen Forderungen nach einem stärker selbstgesteuerten, anwendungsnahen und kooperativen Lernen entgegenkommen und mit Überlegungen zu einem anderen Umgang mit Wissen in Organisationen (Wissensmanagement) konvergieren.“* (Kerres 2002, S. 188)

5. Klassische Lerntheorien und ihre Bedeutung für computergestützte Lernprogramme

„Die Geschichte der Mediendidaktik ist ganz wesentlich geprägt vom Wandel der unterschiedlichen Vorstellungen über das, was wir Lernen nennen. Diese Vorstellungen haben sich in den letzten Jahrzehnten grundlegend gewandelt. Dabei hat gerade die Forschung zum Lernen mit Medien wesentlich dazu beigetragen, dass und wie sich diese Modelle geändert haben.“ (Kerres 2013, S. 130)

Wie in diesem Zitat angedeutet, ist es für die Entwicklung von computergestützten Lernmaterialien wichtig, ein Verständnis für die verschiedenen Sichten auf den Prozess des Lernens zu haben. Deshalb sollen nun die drei klassischen Lerntheorien kurz vorgestellt und ihre Bedeutung für computergestützte Lernprogramme dargestellt werden. Die drei klassischen Theorien sind:

- Behaviorismus
- Kognitivismus
- Konstruktivismus

Die folgenden Ausführungen orientieren sich hauptsächlich an der Zusammenfassung der Lerntheorien in dem Buch „Mediendidaktik“ von Michael Kerres (2013).

5.1 Behaviorismus

Im Behaviorismus wird Lernen als Verhaltensänderung angesehen. Diese Verhaltensänderung wird durch ein Reiz-Reaktionsverhalten ausgelöst, Vorgänge im Inneren einer Person werden dabei ignoriert.



Abbildung 1: Lernen als Verhaltensänderung

Das Grundprinzip des Behaviorismus, das B.F. Skinner (1904-1990) aufzeigte, ist folgendes:

Folgt auf eine bestimmte Verhaltensweise eine positive Konsequenz, so erhöht sich die zukünftige Auftretens-Wahrscheinlichkeit des Verhaltens. Dieser Vorgang des Lernens wird auch als *Lernen durch positive Verstärkung* bezeichnet.

Folgt auf ein Verhalten hingegen eine negative Konsequenz, also eine Art *Bestrafung*, so wird die Wahrscheinlichkeit eines wiederholten Auftretens niedrig. Beispiele aus der Erziehung zeigen allerdings, dass Bestrafung nur kurzfristig eine Reduktion eines Verhaltens hervorruft und dieses Verhalten nach einer gewissen Zeit wieder auftreten kann.

Folgt auf ein gezeigtes Verhalten keine Konsequenz durch die Umwelt, das Verhalten wird also ignoriert, so spricht man von *Löschung*. Verhalten, auf das keine Reaktion gezeigt wird, wird in Zukunft unwahrscheinlicher wiederausgeführt, das Verhalten wird sozusagen gelöscht.

Um eine Verhaltensänderung herbeizuführen, ist es am besten, eine Kombination aus Belohnung und Löschung anzuwenden. Erwünschtes Verhalten soll durch Belohnung gefördert und nicht erwünschtes Verhalten durch Löschung unterbunden werden. Nur in Notfällen soll unerwünschtes Verhalten durch negative Konsequenzen bestraft werden.

In jedem Fall ist es wichtig, dass die Konsequenz auf ein gezeigtes Verhalten in unmittelbarer zeitlicher Nähe folgen muss, damit sie mit dem Verhalten in Verbindung gebracht werden kann.

(vgl. Kerres 2013, S. 130-132)

Darauf aufbauend entwickelte B.F. Skinner in den 1950er Jahren die Lernmethode der *Programmierten Unterweisung*. Skinner beschäftigte sich dabei mit Geräten, mit denen Menschen selbstständig lernen können sollten. Bei diesen „Lehrmaschinen“ wird den Lernenden der Lehrstoff schrittweise in Frage-Antwort-Mustern präsentiert. So kann bei jedem kleinen Schritt gleich überprüft werden, ob die Informationen richtig aufgenommen und gespeichert wurden. Die Belohnung für die Person besteht darin, dass sie zur nächsten Lerneinheit weiter gelangt. Durch diesen kleinen Erfolg

soll die Person motiviert werden, weiter zu lernen. Bei falschen Antworten ist die negative Konsequenz dadurch gegeben, dass die gleiche Lerneinheit noch einmal bearbeitet werden muss, bis die richtige Antwort gefunden wurde. Dies ist keine direkte Bestrafung, es tritt einfach „kein Erfolg“ ein.

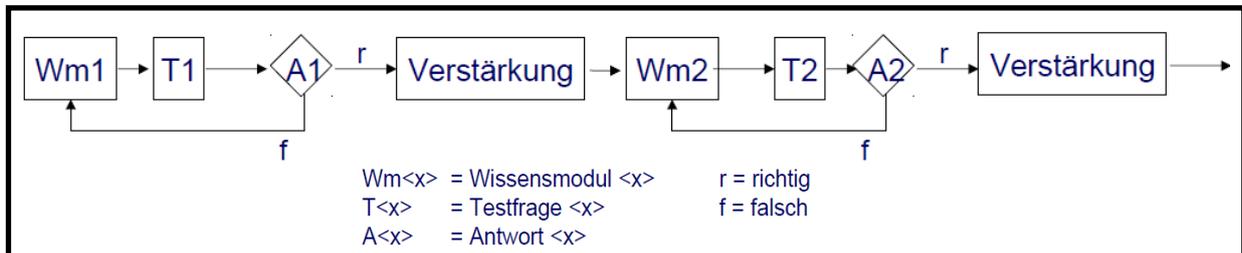


Abbildung 2: Das Prinzip der Programmierten Unterweisung

Durch eine solche „Lehrmaschine“ folgt der Unterricht einem strengen Algorithmus und nicht mehr der Spontanität einer Lehrperson, die je nach Situation verschieden handelt.

(vgl. Kerres 2013, S. 132-133)

Sylvana Kroop von der Universität Wien führte in der Lehrveranstaltung „Computerunterstütztes Lernen“ (2013) mehrere Vorteile behavioristischer Lernprinzipien für computergestützte Lernprogramme an, unter anderem folgende:

- *Sofortige Rückmeldung durch das Lernprogramm.*
- *Feedback in unterschiedlichen Formen möglich (Lob, Anerkennung, Hinweise auf Wissenslücken oder richtiges Reaktionsverhalten).*
- *Fehler können sofort korrigiert werden.*
- *Lerntempo kann individuell bestimmt werden.*
- *Aufgaben und Fertigkeiten können bis zur Perfektion trainiert werden.*
- *Lerninhalte können in kleine Lernschritte unterteilt werden und mit zunehmender Komplexität bzw. Schwierigkeit dargeboten werden.*
- *Lernfortschritte sind objektiv messbar und vergleichbar.*

(Kroop 2013, S. 17)

Neben diesen positiven Argumenten gibt es aber auch eine Vielzahl an Nachteilen behavioristischer Prinzipien:

- *Lernen erfolgt primär fremdgesteuert.*
- *Keine Rücksicht auf die individuellen Lerninteressen.*

- *Keine Reaktion auf frei formulierte Antworten.*
- *Vermittlung von Faktenwissen, wobei gezielt ein bestimmtes Antwortverhalten auf Wissensfragen trainiert wird (Auswendiglernen).*
- *Die Anwendung dieses Wissens auf Problemstellungen wird nicht gelernt.*
- *Falsche Antworten werden meist nicht analysiert, sodass der Lernende nicht die Möglichkeit hat, aus eigenen Fehlern zu lernen. Stattdessen wird ohne weitere Hilfestellung immer wieder die gleiche Aufgabe präsentiert.*
- *Mechanische Vorgehensweise, monoton.*
- *Lernende müssen in der Regel einer strengen Programmstruktur folgen.*

(Kroop 2013, S. 18)

Trotz vieler negativer Argumente weist Kerres darauf hin, dass die Grundstruktur des Modells der Programmierten Unterweisung bis heute für viele Anwendungen die Grundlage bildet. (vgl. Kerres 2013, S. 136)

Auf schulische Lehr- und Lernmethoden umgelegt, bedeutet Behaviorismus das klassische Auswendiglernen und Reproduzieren von Informationen. Bestimmte Musteraufgaben werden so lange wiederholt, bis sie richtig gelöst werden können. Es wird die richtige Verhaltensweise zur Lösung von Aufgaben eines bestimmten Typs erlernt. Dadurch wird oft nur gelernt, wie eine Aufgabe zu lösen ist, ohne ein tieferes Verständnis für die Inhalte zu entwickeln. (vgl. [Beh])

Deshalb ist der behavioristische Ansatz zur Bearbeitung komplexer, anwendungsorientierter Aufgaben oder für problemlösungsorientierte Aufgaben nicht geeignet. Anwendungsbereiche sind überall dort, wo bestimmte Fertigkeiten oder Routinen erworben werden müssen oder wo Faktenwissen vermittelt wird.

(vgl. Kroop 2013, S. 22)

5.2 Kognitivismus

Im Kognitivismus wird Lernen als Informationsverarbeitung angesehen. In den 1960er Jahren kam eine neue Generation von Psychologen zu der Einsicht, dass, im Gegensatz zum Behaviorismus, interne Prozesse des Lernenden beim Lernen nicht unberücksichtigt bleiben dürfen. Um den Aneignungsprozess komplexerer intellektueller Fähigkeiten erklären zu können, kann auf eine genauere Betrachtung interner Gedächtnisprozesse nicht verzichtet werden.

Lernen wird nun nicht mehr als bloßer Reiz-Reaktionsmechanismus bzw. als Verhaltensänderung gesehen, sondern als ein Prozess, bei dem Informationen über die Sinne aufgenommen und im Gehirn verarbeitet werden. Das Gehirn wird als informationsverarbeitendes System betrachtet. Lernen bedeutet immer eine Veränderung der kognitiven Strukturen und Prozesse. Die Veränderung von Verhalten wird bloß nur mehr als Folgeerscheinung interner Verarbeitungsprozesse betrachtet.

Für das Lernen ist zum einen entscheidend, wie Informationen aufbereitet und dargeboten werden. Zum anderen kommt es darauf an, wie die Informationen von den Lernenden kognitiv verarbeitet werden, welche kognitiven Operationen diese ausführen. Für die Informationsaufbereitung wird zunächst zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen unterschieden. Deklaratives Wissen sind Kenntnisse über Dinge, es ist sozusagen ein „Wissen *über* etwas“. Prozedurales Wissen sind hingegen Fertigkeiten, sozusagen ein „Wissen *wie*“. Da man annimmt, dass verschiedene Arten von Lehr-Lerninhalten in unterschiedlichen Subsystemen des Gedächtnisses verarbeitet und gespeichert werden, müssen die Inhalte dementsprechend auch unterschiedlich aufbereitet werden.

(vgl. Kerres 2013, S. 137-138)

Eine wichtige Voraussetzung für den Lernerfolg ist die Anpassung des Lernangebots an das Vorwissen bzw. den Wissensstand des Lernenden. Eine Lehrperson muss ihr Unterrichtsverhalten dem Lernfortschritt ihrer Schülerinnen und Schüler anpassen. Dieses Anpassen auf den jeweiligen Wissensstand wird nun auch von computergestützten Lernmaterialien gefordert. Frühe Lernprogramme konnten den Wissensstand des Lernenden allerdings kaum feststellen. Bei der Auswertung von Testantworten wurde bloß festgestellt, ob eine Frage richtig beantwortet wurde oder ob irgendwo ein Fehler passiert war. Eine gute Diagnose sollte allerdings eine Unterscheidung zwischen Flüchtigkeitsfehlern und tatsächlichen Verständnisproblemen beinhalten. Ausgehend von einem Fehlertyp sollte auf ein Verständnisproblem geschlossen werden und darauf aufbauend sollte für den weiteren Verlauf eine abgestimmte tutorielle Strategie aufgerufen werden, die auf den aktuellen Lernzustand abgestimmt ist.

(vgl. Kerres 2013, S. 138-139)

Dieser Forderung versuchte man Ende der 1980er Jahre, mithilfe der fortschreitenden technologischen Möglichkeiten, gerecht zu werden, indem man *intelligente tutorielle Systeme* entwickelte. Das Ziel war, dass im Hintergrund eine Diagnose über die Kompetenz des Lernenden erstellt wird, während dieser mit dem System arbeitet, um die weiteren dargebotenen Lerninhalte darauf abzustimmen.

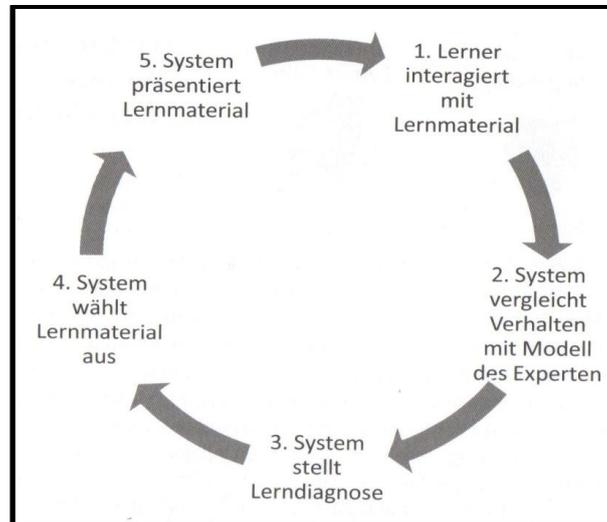


Abbildung 3: Intelligente tutorielle Systeme

Zunächst analysiert das System das Verhalten des Lernenden – welche Lernmaterialien werden gewählt, welche Vermittlungsformen bevorzugt, welche Fehler werden gemacht? Daraus wird ein Kompetenzmodell erstellt, welches im Anschluss mit einem Modell der Expertise, das im System gespeichert vorliegt, verglichen wird. Daraus leitet das System eine Lerndiagnose ab. Auf Grundlage dieser Diagnose werden die weiteren Lerneinheiten und Darbietungsformen für den Lernenden ausgewählt. Dieser Zyklus läuft die ganze Zeit weiter, um das Kompetenzmodell des Lernenden immer am aktuellen Stand zu halten.

Trotz der großen Hoffnungen, die in solche intelligenten tutoriellen Systeme gelegt worden sind, sind die Grenzen dieser Systeme schnell zum Vorschein gekommen. Es ist nämlich sehr schwierig, aus den Fehlern und dem Verhalten des Lernenden Rückschlüsse auf mögliche Kompetenzmängel, die dem Verhalten zugrunde liegen, zu ziehen. Sogar bei sehr einfachen mathematischen Aufgaben benötigt es mehrere Durchläufe, bis Flüchtigkeitsfehler von konkreten Verständnisproblemen unterschieden werden können. Ein weiterer negativer Aspekt ist der große Programmieraufwand, der hinter solchen Systemen steckt.

(vgl. Kerres 2013, S. 139-141)

Sylvana Kroop listet wieder mehrere Vor- und Nachteile für computergestützte Lernprogramme, die einem kognitivistischen Lernprinzip folgen.

Vorteile:

- *Vorwissen und der aktuelle Bedarf des Lernenden wird berücksichtigt.*
- *Individualisierung des Lernenden.*
- *Integration von neuem Wissen in bereits vorhandene Wissensstrukturen (verhindert sogenanntes träges Wissen).*
- *Aus kognitiven Modellen lassen sich Empfehlungen für die Wissensvermittlung im Sinne von Wenn-Dann-Regeln ableiten, die eine optimierte Wissensaufnahme, -verarbeitung und -speicherung ermöglichen.*

(Kroop 2013, S. 27)

Nachteile:

- *Überbetonung des Geistigen.*
- *Laborsituation – Realitätsferne.*
- *Wenige Selbststeuerungsmöglichkeiten durch den Lernenden.*
- *Informationen aus kognitiven Verarbeitungsgesichtspunkten zwar optimal aufgenommen, aber dennoch eher passiv rezeptiv.*

(Kroop 2013, S. 27)

Für Kerres gibt es einen weiteren entscheidenden Kritikpunkt an den kognitiven Ansätzen: „*Gemeint ist die Reduktion menschlichen Handelns auf kognitive Informationsverarbeitung, bei der das Individuum als Zentrum von Wissen und Handeln überbewertet wird und die menschliche Emotionalität, Leiblichkeit und Situiertheit des Handelns in der Lebenswelt ausgeblendet werden.*“ (Kerres 2013, S.142)

Auf schulische Lehr- und Lernmethoden umgelegt, kann kognitivistisches Lernen auch als *Lernen durch Einsicht* bezeichnet werden. Es geht nicht mehr um das bloße Auswendiglernen und Reproduzieren von Informationen, sondern um das Verstehen und Nachvollziehen von Informationen. Die Lernenden setzen sich mit den Lerninhalten auseinander und erwerben Methoden und Fähigkeiten zum Lösen von Problemstellungen. (vgl. [Kog])

5.3 Konstruktivismus

Aufgrund der eben genannten Kritikpunkte entwickelte sich Ende der 1980er und Beginn der 1990er Jahre ein neues Paradigma, nämlich das des situierten Lernens und des Konstruktivismus. Situierte Ansätze sehen das menschliche Handeln und den Lehr-Lernprozess immer in einen sozialen Kontext eingebunden und nicht als Ergebnis von Entscheidungs- und Verarbeitungsprozessen einer einzelnen Person. Bedeutungen werden nicht einfach aus dem Gedächtnis abgerufen oder rekonstruiert, sondern sie werden immer wieder neu konstruiert. Sie sind das Ergebnis *„der Interaktion zwischen Menschen, ihrer Umwelt und Artefakten, die in der Interaktion mit der Umwelt entstehen.“* (Kerres 2013, S. 142)

Im Konstruktivismus wird Lernen also als ein aktiver Prozess der Wissenskonstruktion durch den Lernenden gesehen, der kulturell und situativ gebunden ist. Wissen kann nicht von einer Person auf eine andere übertragen werden, sondern jede Person muss das Wissen selbstständig konstruieren. Jede Person kreiert sich so ein eigenes individuelles Abbild der Realität. Dieser Prozess wird stark vom Vorwissen der Person und der konkreten Lernsituation beeinflusst. Durch diese Auffassung von Lernen verändert sich auch der Aufgabenbereich der Lehrperson. Ihre Aufgabe besteht nun nicht mehr im Vermitteln von Wissen, denn die Lernenden sollen sich selbstständig mit den Lerninhalten beschäftigen. Die Aufgabe besteht vielmehr darin, die Lernenden durch gezielte Instruktionen in ihrem individuellen Lernprozess zu unterstützen, zu beraten und zu leiten, solange sie noch unsicher sind. (vgl. [Kon])

Da in situierten Ansätzen des Lernens das Wissen mit bestimmten Handlungsmustern und sozial-kulturellen Kontexten verbunden ist, müssen sich auch die Lernaufgaben ändern. Sie sollen anwendungsorientiert sein und die Lernenden mit möglichst realen Problemstellungen konfrontieren. Das soll verhindern, dass „träges Wissen“ generiert wird, mit dem sich keine konkreten Anwendungsfälle lösen lassen. (vgl. Kerres 2013, S. 144)

Für das didaktische Design von Lernmaterialien formuliert Kerres nach *Reinmann & Mandl (2006)* zentrale Prinzipien konstruktivistischer Lernangebote:

- mit authentischen Problemen lernen: Lernen sollte auf Problemen basieren, die für die Lernenden bedeutsam sind und den Anwendungsbezug unterstützen.
- in multiplen Kontexten lernen: Lernen sollte verschiedene Anwendungssituationen aufzeigen und die Lernenden anregen, konkrete Probleme zu lösen.
- unter multiplen Perspektiven lernen: Lernende sollten verschiedene Perspektiven auf ein Problem kennenlernen und Probleme in verschiedenen Rollen lösen.
- in einem sozialen Kontext lernen: Lernen sollte in Interaktion mit anderen stattfinden und den Austausch der Lernenden fördern.
- mit instruktionaler Unterstützung lernen: Lernen sollte durch Ressourcen unterschiedlicher Art unterstützt werden. Dies schließt eine vorbereitete Lernumgebung, Lernmaterialien und eine Unterstützung durch Lehrpersonen ein.

(Kerres 2013, S. 146)

Konstruktivistische Ansätze, die eine durch externe Anregung geförderte Selbststeuerung beim Lernen fokussieren, haben in den letzten Jahren viel Zuspruch erfahren. Allerdings gibt es auch hier Kritikpunkte:

Konstruktivistische Didaktik sei nur eine Sammelbezeichnung für Altbekanntes und unter Konstruktivismus wären kaum grundlegend neue didaktische Methoden erkennbar. Der Ausdruck Konstruktivismus wird auch öfters nur als Floskel verwendet, um etwas Neues mit einem positiven Schein zu positionieren, um sich von etwas Altem, wie z.B. dem Behaviorismus, zu distanzieren.

(vgl. Kerres 2013, S. 146)

5.4 Fazit

In der nachfolgenden Tabelle sind die wichtigsten Aussagen der drei Theorien noch einmal zusammen dargestellt.

	Behaviorismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Lernen geschieht durch...	Reaktion der Umwelt	Aufbau kognitiver Strukturen	(Re-)Konstruktion von Wissen, Partizipation an kultureller Praxis
Resultat des Lernens ist...	Reiz-Reaktions-Verbindung	abstraktes, möglichst generalisierbares Wissen (Schemata, Fertigkeiten zur Problemlösung etc.)	kontextualisiertes, in Situationen anwendbares (viables) Wissen
Forderung an didaktisches Design...	Aufteilung der Lehrinhalte in kleinere Lerneinheiten	Anpassung des Lernmaterials an Lernvoraussetzungen bzw. –fortschritt	Einbindung in Anwendungskontexte, Authentizität, Lernmaterial, Situierung
Bevorzugte didaktische Methode	sequentiell aufbereitete Exposition	Exposition und Exploration	Exploration, Projektmethode, Kooperation
Kontrolle des Lernweges	Fremdsteuerung	Fremd- und Selbststeuerung in Abhängigkeit vom Lernfortschritt	Selbststeuerung
Kontrolle des Lernerfolgs	regelmäßig mit jedem Lernschritt, zwingend für die Anpassung des Lernangebots	regelmäßig nach einer sinnhaften Lerneinheit, möglichst eingebettet in Lernaufgaben	zur Eigendiagnose, anwendungsnahe Übungsaufgaben, zur Sicherung von Transfer
Rolle des Mediums	Steuerung und Regelung des Lernprozesses	Präsentation von Wissen, Interaktivität und Adaptivität	Angebote für (gemeinsame) Aktivitäten der Konstruktion

(Kerres 2013, S. 147)

Betrachtet man die Unterschiede in den einzelnen Punkten, könnte man sich nun die Frage stellen, welche lerntheoretische Position nun die „richtige“ sei. Eine gute Antwort bietet der Pragmatismus. Aus dieser Sicht sind die verschiedenen Positionen

keine sich gegenseitig ausschließende, sondern ergänzende Betrachtungen. (vgl. Kerres 2013, S. 146)

Für Kerres bieten die verschiedenen Theorien nur unterschiedliche Sichtweisen auf das Phänomen Lernen. Die Sichtweisen sind nicht „richtig“ oder „falsch“ bzw. „gut“ oder „schlecht“. Vielmehr greifen die einzelnen Ansätze bestimmte Teilaspekte des Lernprozesses auf. In der Praxis kann man aber nicht einzelne Teile der Realität einfach weglassen. Deshalb muss die gestaltungsorientierte Mediendidaktik alle lerntheoretischen Positionen berücksichtigen und versuchen, diese zusammenzuführen. (vgl. Kerres 2013, S. 148-150)

„In Lernumgebungen finden alle hier skizzierten Lernprozesse statt, z.B. die Konditionierung durch Reaktionen der Umwelt, Lernen durch Bildung kognitiver Schemata und Sozialisation durch Teilhabe an sozialen Praxen etc. Von den Lernzielen wird es abhängen, welche Lernprozesse durch methodisch aufbereitete Arrangements anzuregen sind.“ (Kerres 2013, S. 151)

Neben dem Verständnis der verschiedenen Sichten auf den Prozess des Lernens gibt es für die Gestaltung von Lernmaterialien noch weitere wichtige Punkte, die berücksichtigt werden müssen. So ist es auch wichtig, ein Verständnis dafür zu haben, wie die Informationsverarbeitung im Gedächtnis beim Lernen und in weiterer Folge beim multimedialen Lernen vor sich geht. Deshalb werden nun im Anschluss diese Prozesse der Informationsverarbeitung dargestellt.

6. Informationsverarbeitung beim Lernen

In der kognitiven Psychologie werden Lernprozesse ganz allgemein als Informationsverarbeitungsprozesse abgebildet.

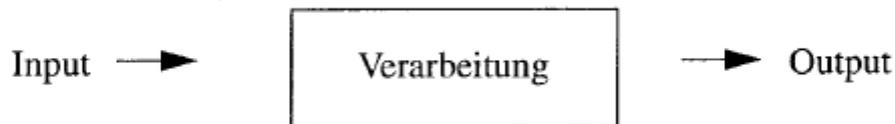


Abbildung 4: Lernen als Informationsverarbeitung

Ein grundlegendes Informationsverarbeitungsmodell der kognitiven Psychologie stammt aus dem Jahr 1968 von Atkinson und Shiffrin. Nach ihrem Gedächtnismodell besteht das menschliche Gedächtnis aus drei Teilen: einem sensorischen Kurzzeitspeicher, einem Kurzzeitspeicher und einem Langzeitspeicher.

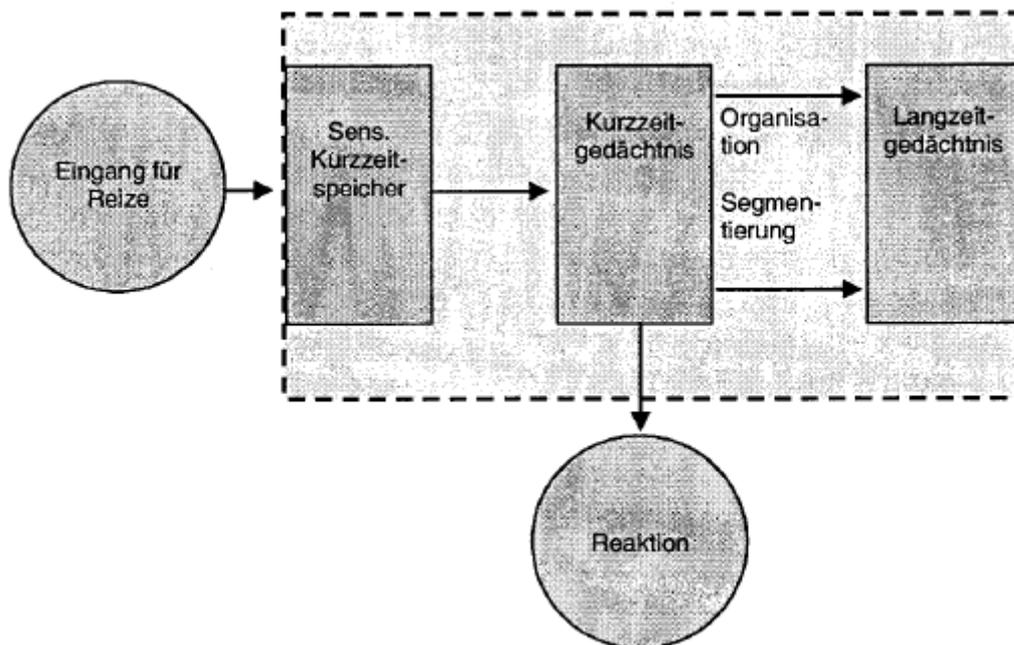


Abbildung 5: Das Dreispeichermodell von Atkinson und Shiffrin

Im sensorischen Kurzzeitspeicher werden alle Informationen, die wir über unsere Sinnesorgane aufnehmen, gespeichert. Es können sehr viele Informationen gespeichert werden, allerdings nur für eine sehr kurze Zeit und diese Informationen sind uns auch nicht bewusst. Diese unbewusste Speicherung von allem, was wir sehen, hören oder sonst in einer Weise wahrnehmen, dient vor allem dem Schutz vor einer Reizüberflutung. Um die eingehenden Informationen bearbeiten zu können,

müssen sie mit Aufmerksamkeit belegt werden und in den Kurzzeitspeicher überführt werden.

Das Kurzzeitgedächtnis bildet den „Arbeitsplatz“ unseres Gedächtnisses. Hier werden neu eintretende Informationen geordnet und verarbeitet. Zugleich wird hier auch Wissen aus dem Langzeitspeicher geholt, verarbeitet und mit den neuen Informationen in Verbindung gesetzt.

Alle Informationen, die im Kurzzeitspeicher in eine sinnvolle Struktur gebracht worden sind, werden anschließend im Langzeitspeicher für immer gespeichert. Der Langzeitspeicher verfügt im Gegensatz zum Kurzzeitspeicher über eine beinahe unbegrenzte Kapazität. Trotzdem kommt es vor, dass bereits abgelegte Informationen scheinbar aus dem Langzeitgedächtnis verschwinden:

„Stellt man sich den Langzeitspeicher wie eine Bibliothek vor, dann kann man eine vergessene Information mit einem Buch vergleichen, das zwar noch vorhanden ist, aber nicht gefunden werden kann. Möglicherweise wurde das Buch nicht systematisch eingeordnet, d.h. man hat keine Anhaltspunkte zum Wiederfinden der Information mit abgespeichert, die Bibliothek wurde möglicherweise auch umsortiert oder das Buch wurde sehr lange nicht mehr benutzt.“ (Seufert et al. 2007, S. 26)

Durch diese Analogie soll verdeutlicht werden, wie wichtig es ist, neue Informationen mit bereits vorhandenem Wissen möglichst gut zu vernetzen und zu strukturieren, um die Informationen nicht zu verlieren. Lernen wird nach diesem Modell also als das Speichern verarbeiteter Information im Langzeitspeicher definiert.

(vgl. Seufert et al. 2007, S. 25-27)

6.1 Das Arbeitsgedächtnis

Arbeitsgedächtnis ist ein anderer, in der Literatur gebräuchlicher Begriff für das Kurzzeitgedächtnis. Wie bereits oben erwähnt, werden im Kurzzeitgedächtnis die neu eingetretenen Informationen verarbeitet, weshalb dieser Teil des Gedächtnisses besonders beim Lernen neuer Inhalte von besonderer Bedeutung ist.

Ein bekanntes Modell zum Arbeitsgedächtnis liefert Baddeley (1986, 1992). Für Baddeley gibt es in seinem Modell zwei zentrale Punkte:

Begrenzte Kapazität:

Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses wird auf 7 ± 2 Einheiten begrenzt, d.h. es können maximal 7 ± 2 Informationselemente auf einmal bearbeitet werden. Was unter einem Informationselement zu verstehen ist, hängt von der Expertise der Person ab. Kerres führt dazu folgendes Beispiel an:

„Für eine Anfängerin sind beispielsweise die einzelnen Aussagen der Allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein schwer zu verarbeiten bzw. zu merken. Für die Expertin handelt es sich um einen Satz von Aussagen, den sie als einzelne Sinneinheiten im Ganzen aktualisieren und verarbeiten kann. Durch die mehrfache Beschäftigung mit dem Gegenstand entstehen größere Sinneinheiten.“

(Kerres 2013, S. 155)

Das heißt also, je mehr Wissen eine Person in einem bestimmten Bereich hat, desto größer werden die Informationseinheiten, die bearbeitet werden können. Solche gruppierten Informationselemente zur Bearbeitung einer größeren Anzahl an Informationen werden „chunks“ genannt. Wiederum können etwa sieben solcher chunks auf einmal bearbeitet werden. Ein weiteres Beispiel für einen solchen chunk ist das Merken einer Telefonnummer. Anstelle sich jede Ziffer einzeln zu merken, gruppiert man die Ziffern zu zwei- oder dreistelligen Zahlen und merkt sich diese.

Eine andere Form der Chunkbildung ist die sogenannte Schemakonstruktion:

„Kognitive Schemata sind mentale Wissensseinheiten über Ereignisse oder Gegenstände, die auf Basis eigener Erfahrungen entstanden sind. [...] Kognitive Schemata dienen also der Informationsreduktion und lassen schnelle Entscheidungen zu.“ (Seufert et al. 2007, S. 28)

Ein Beispiel ist das Hunde-Schema. Durch dieses Schema können wir einen Hund als solchen erkennen, selbst wenn wir einen bestimmten Hund oder die Rasse des Hundes noch nie zuvor gesehen haben.

(vgl. Seufert et al. 2007, S. 28)

Getrennte Speicher für visuelle und auditive Informationen

In Baddeleys Modell gibt es zwei unabhängige Speicher, einen für auditive und einen für visuelle Informationen. Hinzu kommt noch eine zentrale Verteilerstelle, welche die Aufmerksamkeitsressourcen von und zu den beiden Speichern verteilt. Als Beispiel wird hier das multimediale Lernen angegeben. Würde ein Lernender gleichzeitig eine Filmsequenz betrachten und einen Text lesen müssen, so wäre eine Aus- oder sogar Überlastung des visuellen Teils des Arbeitsgedächtnisses die Folge. Deshalb ist es besser, den Text auditiv zur visuellen Filmsequenz zu präsentieren. Somit wird nicht nur der visuelle Teil, sondern auch der auditive Teil des Arbeitsgedächtnisses aktiviert. (vgl. Seufert et al. 2007, S. 29)

Man kann also sehen, dass der Informationsverarbeitungsprozess sehr stark von der Leistung des Arbeitsgedächtnisses abhängig ist. Obwohl wir ungeheure Mengen an Informationen wahrnehmen und die Kapazität des Langzeitgedächtnisses fast unbegrenzt ist, können wir nur eine kleine Anzahl an Informationen auf einmal bearbeiten. Aus diesem Grund müssen sich Lernende auf einige zentrale Aspekte konzentrieren und dann schrittweise weiterarbeiten, anstatt alles auf einmal zu erfassen. Durch dieses Vorgehen schonen wir unsere kognitiven Ressourcen und schützen uns vor einer Überlastung. Allerdings bringt dieses Vorgehen auch einen Nachteil mit sich: Indem man selten das zu erlernende Stoffgebiet genügend gut als Ganzes überblicken kann, trifft man nicht immer die besten Entscheidungen bei der Auswahl der zentralen Aspekte oder der richtigen Abarbeitungsreihenfolge.

(vgl. Seufert et al. 2007, S. 30)

Dies wird vor allem beim „lost in hyperspace“ – Phänomen deutlich erkennbar. Das Phänomen tritt bei der Bearbeitung hypertextueller Lernumgebungen auf.

„Die Menge an Informationen ist sehr groß, die Lernwege sind nicht immer vorgegeben, die Gesamtstruktur oft nur schwer erkennbar, so dass dem Lernenden die Wahl des nächsten Schrittes oft schwer fällt, er ist sozusagen lost in hyperspace (Conklin, 1997; Tergan, 2001). Dazu kommt, dass er seine begrenzten Ressourcen nicht alleine auf die Verarbeitung der Information richten kann, sondern die Orientierung im System zusätzliche Aufmerksamkeit fordert (Brünken, 1998)“

(Seufert et al. 2007, S. 30)

7. Multimediale Informationsverarbeitung und Lernprozesse im Umgang mit Neuen Medien

In diesem Punkt werden nun kurz Modelle dargestellt, die sich speziell mit der Verarbeitung multimedial dargebotener Informationen beschäftigen. Im Unterschied zu herkömmlichen Lernprozessen werden beim multimedialen Lernen mehrere verschiedene Sinne angesprochen. Je nachdem über welchen Sinn die Informationen in das Gedächtnis gelangen, erfolgt die Verarbeitung etwas unterschiedlich.

Eine grundlegende Theorie zur Verarbeitung multipler Kodierungsformen, also der Verarbeitung verschiedener Zeichensysteme, lieferte Alan Paivio (1986). Paivio beschäftigte sich mit der kognitiven Verarbeitung bei der Wahrnehmung von Texten und Bildern. Anhand seiner Ergebnisse formulierte er die *Theorie der Dualen Kodierung*. Auf dieser Theorie aufbauend gab es danach viele weitere Studien, die die Überlegungen zur Verarbeitung verschieden kodierter Informationen weiterführen. Eine solche weitere Theorie ist Richard E. Mayers *kognitive Theorie des multimedialen Lernens* (2001).

7.1 Theorie der Dualen Kodierung von Alan Paivio

Diese Theorie besagt, dass verbale und non-verbale Informationen in unterschiedlichen Subsystemen des Gedächtnisses verarbeitet werden, nämlich dem verbalen und dem non-verbalen bzw. imaginalen System.

Im verbalen System werden auditiv oder visuell wahrgenommene Wörter und Sätze enkodiert. Beim Lesen eines Textes werden die Informationen als *sprachliche Zeichen* verarbeitet. Bei der Verarbeitung wird sequenziell, Zeichen für Zeichen, vorgegangen.

Im non-verbalen bzw. imaginalen System werden bildhafte Informationen, sowie über Geruchs-, Geschmacks- und Tastsinn aufgenommene Informationen enkodiert. Hierbei findet die Erfassung nicht sequenziell, sondern ganzheitlich und zeitgleich statt. Ein Bild wird z.B. als Ganzes und sofort erfasst.

Die Kernaussage der Theorie der Dualen Kodierung ist nun, dass Informationen besser erinnert werden können, wenn sie in beiden Subsystemen gespeichert

werden. Bilder werden sowohl im imaginalen als auch im verbalen System enkodiert, es besteht eine doppelte Kodierung. (vgl. Kerres 2013, S.164, Seufert et al. 2007, S. 31)

Beispiel:

Nimmt eine Person das Bild eines Autos wahr, so wird das Bild zweifach enkodiert: einerseits wird das Bild im imaginalen System verarbeitet, d.h. die Person kann sich das Auto bildlich vorstellen, andererseits findet die Verarbeitung auch im verbalen System statt, indem die verbale Benennung „Auto“ generiert wird.

Wörter und Texte werden hingegen meistens nur im verbalen System gespeichert. Nur in manchen Fällen, wenn die Generierung eines Vorstellungsbildes möglich ist, z.B. bei dem Wort „Ball“, ist auch bei verbalen Informationen eine duale Kodierung möglich. Bei abstrakten Begriffen wie *Vertrauen* oder *Zuversicht* ist die Generierung eines Vorstellungsbildes und somit eine duale Kodierung nicht möglich. Deshalb können Wörter, Sätze und Texte, zu denen konkrete Vorstellungsbilder generiert werden können, etwa doppelt so gut behalten werden wie abstrakte Wörter bzw. abstrakt geschriebene Texte. (vgl. Sadoski, McTigue, Paivio 2012, S. 490)

7.2 Die kognitive Theorie des multimedialen Lernens von Richard E. Mayer

Die Grundstruktur des Modells von Mayer ist mit dem oben erläuterten Gedächtnismodell von Atkinson und Shiffrin vergleichbar. Auch Mayer geht von einem sensorischen Speicher, einem Arbeitsgedächtnis und einem Langzeitgedächtnis aus. Die multimedial präsentierten Informationen gelangen über die Augen und Ohren in den sensorischen Speicher, wo sie für sehr kurze Zeit für das Arbeitsgedächtnis zugänglich sind. Im Arbeitsgedächtnis werden die Informationen mithilfe von Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis verarbeitet.

Für diese Verarbeitungsschritte sind im Wesentlichen drei Prozesse verantwortlich.

- 1) Zunächst muss der Lernende seine Aufmerksamkeit auf die für ihn im Text und im Bild relevanten Informationen richten. Er selektiert die Informationen und überträgt die jeweiligen Elemente vom sensorischen Speicher in das Arbeitsgedächtnis.

- 2) Je nach Information wird diese als nächstes im verbalen und/oder im non-verbalen System enkodiert und organisiert. Im verbalen Arbeitsgedächtnis führt das zur Konstruktion eines verbalen mentalen Modells, im non-verbalen Arbeitsgedächtnis wird ein bildhaftes mentales Modell konstruiert.
- 3) Damit die Information auch verstanden wird, werden einander entsprechende Entitäten aus Text und Bild miteinander verknüpft. Das verbale und das bildhafte mentale Modell werden so vom Lernenden integriert.

(vgl. Seufert et al. 2007, S. 32-33)

Die konkrete Verarbeitung unterscheidet sich je nach Art der Information. Mayer unterscheidet in seinem Modell dabei folgende Arten:

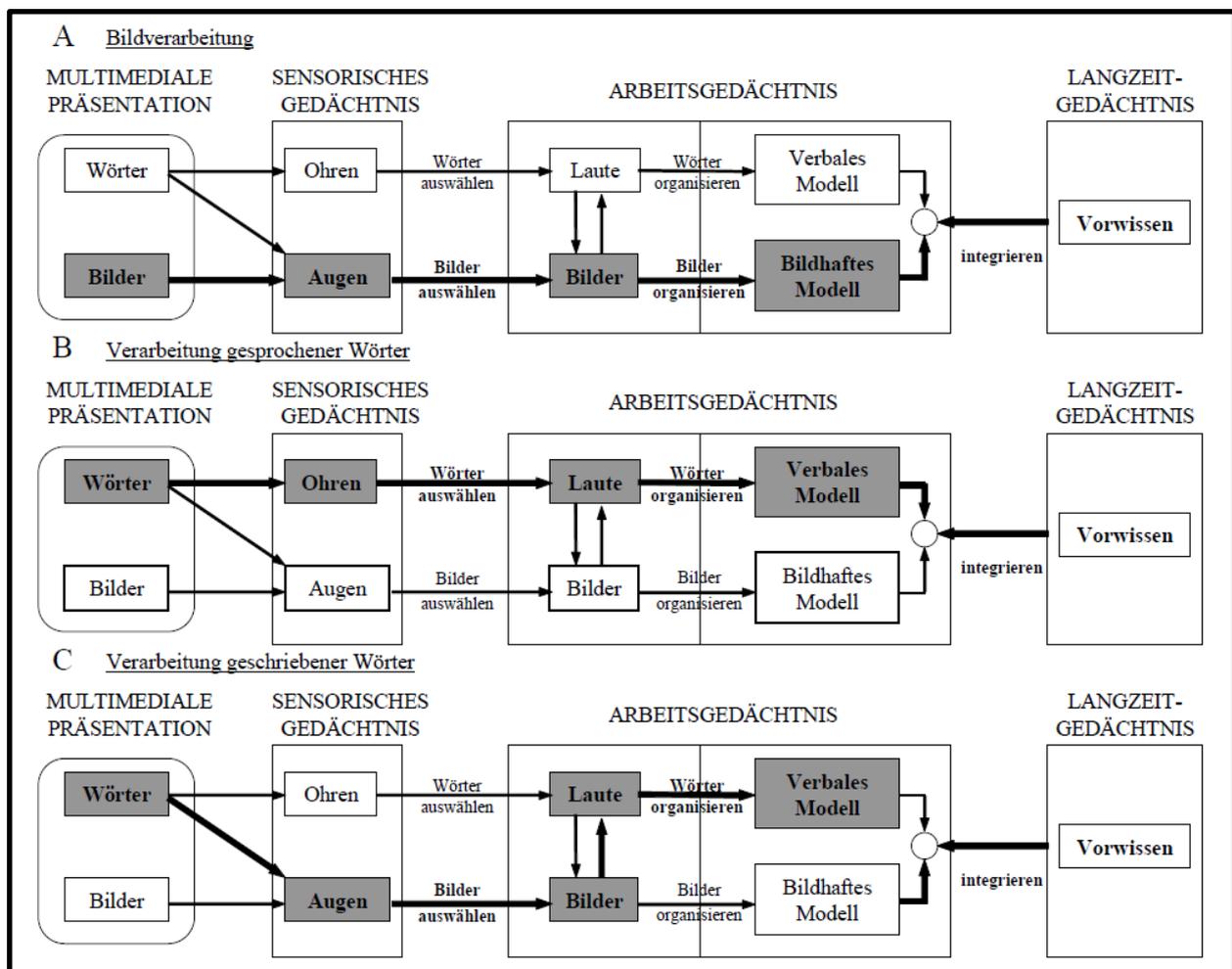


Abbildung 6: Die kognitive Theorie des multimedialen Lernens von Richard E. Mayer

Bei der Verarbeitung von Bildern werden die bildhaften Informationen über den visuellen Sinneskanal aufgenommen. Durch die Belegung der Information mit

Aufmerksamkeit wird diese in das Arbeitsgedächtnis überführt. Dort wird im visuell-bildhaften Kanal ein bildhaftes Modell erzeugt.

Bei der Verarbeitung von gesprochenem Text wird die Information über die Ohren aufgenommen und bei Belegung mit Aufmerksamkeit im (auditiv-) sprachlichen Kanal des Arbeitsgedächtnisses verarbeitet. Dabei entsteht ein verbales Modell.

Bei der Verarbeitung von geschriebenem Text wird die Information zunächst über die Augen aufgenommen und wiederum bei Belegung mit Aufmerksamkeit in das Arbeitsgedächtnis übertragen. Im Arbeitsgedächtnis folgt nun aber eine Umkodierung, d.h. auch wenn die sprachliche Information visuell aufgenommen wurde, wird sie nun im (auditiv-) sprachlichen Kanal verarbeitet. Aus der bildhaften Information wird so ein verbales Modell erzeugt.

(vgl. Kerres 2013, S. 166)

Bei Betrachtung dieses Modells wird nun eine wesentliche Erkenntnis von Mayer ersichtlich: Es kann eine bessere Lernleistung erzielt werden, wenn der Text zu einem Bild auditiv wiedergegeben wird und nicht visuell in geschriebener Form. Bei einer Verarbeitung von visuellen Bildern und Texten entsteht eine „doppelte“ Belastung des visuell-bildhaften Kanals des Arbeitsgedächtnisses, was eine vergleichsweise schlechtere Lernleistung zur Folge hat. John Sweller spricht hierbei vom sogenannten „*split-attention effect*“, denn der Lernende muss seine Aufmerksamkeit auf die Betrachtung des Bildes und das Lesen des Textes aufteilen. (vgl. Mayer, Moreno 2003, S. 45)

Wird der Text hingegen auditiv dargeboten, so belastet der Text den visuell-bildhaften Kanal nicht, da die Textpräsentation gleich im (auditiv-) sprachlichen Kanal erfolgt. Im visuell-bildhaften Kanal muss nur das Bild verarbeitet werden und es kommt zu keiner Überforderung dieses Kanals. Gesamt gesehen kommt es zu einer besseren Ausnützung der Ressourcen im Arbeitsgedächtnis, weshalb im Vergleich zu oben eine bessere Lernleistung erzielt wird. Dieser Effekt wird von Mayer und Moreno auch als Modalitätseffekt beschrieben.

Diese bessere Lernleistung durch multimodale¹ Darbietung der Lerninhalte wurde in mehreren Studien nachgewiesen (z.B.: Mayer & Moreno, 1998; Moreno & Mayer,

¹ Multimodale Wahrnehmung bezieht sich auf die unterschiedlichen Sinneskanäle, über die Informationen der Umwelt erfasst werden können: hören, sehen, tasten, schmecken und riechen. (Kerres 2013, S.168)

1999; Brünken & Leutner, 2001; Moreno, Mayer, Spires & Lester, 2001; Leahy, Chandler & Sweller, 2003). (vgl. Rummer et al. 2008, S. 99; Mayer, Moreno 2003, S. 46)

Allerdings gibt es auch Kritikpunkte an diesem Modell von Mayer. Vor allem wird die Überlastung des visuell-bildhaften Kanals bei der Darbietung von Bildern und Texten angezweifelt. Die Kritiker gehen davon aus, dass Bilder und Texte nicht nach denselben Mustern, sondern unterschiedlich verarbeitet werden und demnach nicht um eine gemeinsame Arbeitsgedächtnisressource konkurrieren. Der Vorteil einer Kombination von auditiven Texten und visuellen Bildern gegenüber visuellen Texten und Bildern ist zwar wissenschaftlich erwiesen (siehe Studien oben), allerdings für die Kritiker auf andere Ursachen zurückzuführen. Sie glauben, dass z.B. willkürliche Blickbewegungen, die beim Lesen eines Textes notwendig sind, das Bildbehalten möglicherweise beeinträchtigen und somit eine schlechtere Lernleistung bei visuell repräsentierten Texten bewirken. (vgl. Rummer et al. 2008, S. 104)

Rummer et al. schlagen deshalb eine Modifizierung der Verarbeitung von geschriebenen Texten im Modell von Mayer vor. Dabei erfolgt die Text-Bild-Integration bereits deutlich früher.

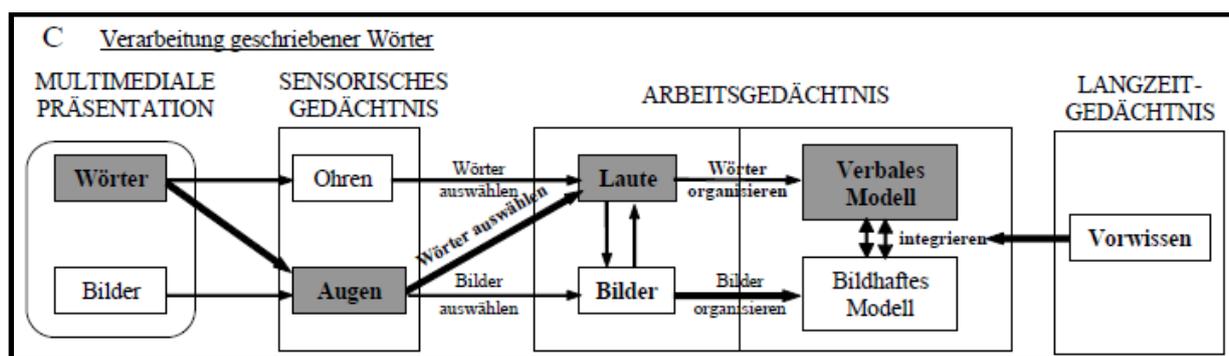


Abbildung 7: modifizierte Version von Mayers Modell

Man sieht also, dass die Gestaltung von Online-Lernmaterialien sehr eng mit der Funktionsweise unserer Informationsverarbeitung im Gedächtnis in Verbindung gebracht werden muss, um ein möglichst effizientes Lernwerkzeug zu kreieren. Ein Aspekt, der allerdings von den vorgestellten Modellen nicht näher beschrieben wird, soll an dieser Stelle nicht vernachlässigt werden. Es handelt sich dabei um den Aspekt der kohärenten Integration von Informationen aus Text, Bild und anderen Darstellungsformen.

8. Kohärenzbildung

Multimediale Lernumgebungen bieten den Lernenden oftmals eine Vielzahl an kombinierten Darstellungsformen der Inhalte. Neben Text werden oftmals Bilder, Diagramme, Tabellen, Applets und dynamische Repräsentationen, wie auditive Textdarbietung, Geräusche oder Animationen dargeboten. Damit der Lernende eine umfassende Wissensstruktur für den gesamten Sachverhalt aufbauen kann, müssen zunächst die einzelnen Darstellungen verstanden werden. Um alle Informationen schlüssig bzw. kohärent in diese Wissensstruktur einordnen zu können, müssen aber auch die Beziehungen und Zusammenhänge zwischen diesen multiplen Repräsentationen verstanden werden. Nur wenn dieser Integrationsprozess, der als *Kohärenzbildungsprozess* bezeichnet wird, erfolgreich vollzogen wird, kann von einem Verstehen des Sachverhaltes gesprochen werden. (vgl. Seufert et al. 2007, S. 34, Brünken et al. 2005, S. 62)

Anhand eines kleinen Beispiels können die notwendigen Schritte für das Kohärenzbilden zwischen multiplen Repräsentationen veranschaulicht werden. In einem illustrierten Text müssen zunächst im Text die wichtigen Elemente, deren Eigenschaften sowie deren Beziehungen untereinander identifiziert werden. Bei der Bildbetrachtung muss ebenfalls ein entsprechender Prozess stattfinden. Dabei werden die einzelnen Bildteile und deren Beziehungen analysiert. Diese Teilprozesse der Kohärenzbildung finden voneinander isoliert, innerhalb der jeweiligen Repräsentation (Text bzw. Bild) statt. Deshalb werden diese Prozesse auch als *lokale Kohärenzbildung* bezeichnet. In weiterer Folge muss der Lernende die identifizierten Elemente beider Repräsentationen miteinander in Relation setzen und deren Zusammenhänge analysieren. Dieser Prozess wird als *structure mapping* bezeichnet, da dabei die Strukturen der einen Repräsentation auf die der anderen abgebildet werden. Dieser Verarbeitungsprozess geht über die einzelnen Repräsentationen hinaus und kann daher auch als *globale Kohärenzbildung* bezeichnet werden (vgl. Seufert et al. 2007, S. 34-35, Brünken et al. 2005, S. 62).

Es lässt sich also festhalten, dass das Verständnis eines Sachverhalts mit der Konstruktion einer lokal sowie global kohärenten Wissensstruktur einhergeht. Dieser Konstruktionsprozess ist allerdings nur dann möglich, wenn alle relevanten Elemente und Relationen innerhalb und zwischen den verschiedenen Repräsentationen von

den Lernenden identifiziert und aufeinander abgebildet werden können. (vgl. Brünken et al. 2005, S. 62)

Laut Shaaron Ainsworth von der Universität Nottingham (GB) haben bereits in den 1990er Jahren mehrere Studien zum Lernen mit multiplen Repräsentationen gezeigt, dass Lernenden die Kohärenzbildung zwischen verschiedenen Darstellungsformen keineswegs immer gelingt (Yerushalmy, 1991; Schoenfeld, Smith & Arcavi, 1993; Ainsworth, Wood & Bibby, 1996). (vgl. Ainsworth 1999, S. 132)

Diese Überforderung bei der Kohärenzbildung kann aus einer zu geringen Arbeitsgedächtniskapazität resultieren. Wenn zu viele Informationen aufeinander bezogen werden müssen, reicht die Kapazität oftmals nicht aus, um alle gleichzeitig im Gedächtnis zu behalten. Hinzu kommt, dass ohne hinreichendes Vorwissen keine kognitiven Schemata zur Anknüpfung und Integration der neuen Informationen vorhanden sind. Um die Kohärenzbildung zu ermöglichen, muss die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses richtig ausgenutzt werden. Die Aufmerksamkeit muss auf die relevanten Elemente gerichtet werden, um diese zu verstehen und in bestehende Strukturen zu integrieren. (vgl. Brünken et al. 2005, S. 62-63)

Es stellt sich nun die Frage, ob es Möglichkeiten zur Verhinderung dieser Form der kognitiven Überlastung und zur Unterstützung des Prozesses der Kohärenzbildung gibt. Eine mögliche Antwort liefert die *Cognitive Load Theory* von Chandler & Sweller. Die Theorie gibt zwei Möglichkeiten, wie bereits durch die Gestaltung der Informationsdarbietung die Kohärenzbildung gefördert und eine kognitive Überlastung verhindert werden kann. Bevor näher auf diese Möglichkeiten eingegangen wird, soll zunächst diese Theorie näher vorgestellt werden.

9. Kognitive Beanspruchung beim Lernen mit Medien – Cognitive Load Theory

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt wurde, ist das Arbeitsgedächtnis die entscheidende Schnittstelle für erfolgreiches Lernen. Deshalb müssen bei der Gestaltung einer Lernumgebung die Prinzipien der Informationsverarbeitung im Gehirn berücksichtigt werden. Die beschränkte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses muss optimal ausgenutzt werden, damit die Informationen dauerhaft gespeichert werden können. Ein wichtiger Schritt dazu ist die Reduzierung der kognitiven Beanspruchung bzw. Belastung beim Lernenden. Hierzu gibt es eine besonders wichtige Theorie von Chandler & Sweller (1992, 2010), nämlich die Theorie der kognitiven Beanspruchung bzw. die Cognitive Load Theory. Auf der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses basierend, gehen sie in ihrer Theorie von drei verschiedenen Arten der kognitiven Belastung bzw. des cognitive load aus: dem intrinsic cognitive load, dem extraneous cognitive load und dem germane cognitive load. (vgl. Kerres 2013, S. 156, Seufert et al. 2007, S. 37)

9.1 Intrinsic cognitive load

Der *intrinsic cognitive load* oder die *aufgabeninduzierte Beanspruchung* entsteht allein durch die Komplexität des Lerninhaltes und durch die Anzahl der Elemente, die im Arbeitsgedächtnis gleichzeitig zu halten sind. Die Komplexität einer Aufgabe hängt von der Interaktivität der Elemente ab. Je stärker die Elemente einer Aufgabenabarbeitung interaktiv miteinander in Beziehung stehen, desto höher ist die kognitive Belastung. Eine hohe Interaktivität bedeutet, dass viele Begriffe bzw. Elemente des Sachverhalts stark miteinander vernetzt sind und daher simultan im Gedächtnis behalten werden müssen. Ein Beispiel hierfür ist das Verstehen eines komplexen Textes. Dabei müssen große Teile im Arbeitsgedächtnis aufgenommen werden, um sie mit Konzepten aus dem Langzeitgedächtnis verknüpfen zu können. Eine niedrige Interaktivität liegt vor, wenn die einzelnen Begriffe bzw. Elemente des Sachverhalts sequentiell und voneinander isoliert bearbeitet werden können. Ein Beispiel dafür ist das Vokabellernen. Hierbei müssen zwar viele Elemente erlernt werden, allerdings können sie der Reihe nach im Arbeitsgedächtnis abgearbeitet werden.

Diese Form der kognitiven Beanspruchung ist auch stark vom Vorwissen des Lernenden abhängig. Für einen Experten wird die Komplexität eines Sachverhaltes viel weniger belastend sein als für einen Anfänger. Der Vorteil des fortgeschrittenen Lerners liegt wieder in der Bildung von „chunks“. Wie bereits oben erwähnt, können Fortgeschrittene mehrere Bestandteile zu größeren Sinneinheiten gruppieren und so das Arbeitsgedächtnis effizienter nutzen. Für Anfänger hingegen sind bereits die einzelnen Informationsbestandteile belastend.

Da der *intrinsic cognitive load* vom Lerninhalt abhängig ist, lässt sich diese Form der Belastung eher nicht durch gestalterische Mittel beeinflussen. (vgl. Kerres 2013, S. 157, Seufert et al. 2007, S. 37)

9.2 Extraneous cognitive load

Der *extraneous cognitive load* oder die *sachfremde Beanspruchung* bezieht sich nicht auf den Lerninhalt selbst, sondern auf die Darstellung des Lerninhalts, auf lernirrelevante Aspekte, die den Lernvorgang unnötig erschweren können. Solche Aspekte können textliche oder optische Details zur Ausschmückung des Lernangebots sein, die für das Verstehen des Sachverhaltes wenig relevant sind. Die Belastung ergibt sich dadurch, dass der Lernende diese Ausschmückungen erkennen und aktiv ausblenden muss.

Dasselbe Problem besteht, wenn die Lerninhalte verwirrend, unstrukturiert, unübersichtlich oder schwer verständlich dargestellt werden. Auch hier ist die Beanspruchung sehr groß, weil sich der Lernende die relevanten Informationen erst mühevoll zusammensuchen muss.

Ein Beispiel ist eine Aufgabe, bei der ein Text und ein Bild zueinander in Bezug gebracht werden müssen. In diesem Fall steigt der *extraneous cognitive load*, wenn Text und Bild nicht in unmittelbarer räumlicher Nähe, sondern z.B. auf verschiedenen Seiten eines Hypertexts oder eines Buches angeordnet sind.

Durch eine gute Darstellung der Lerninhalte kann diese Form der kognitiven Belastung reduziert werden.

Es muss aber auch hier erwähnt werden, dass die kognitive Beanspruchung abermals vom Vorwissen einer Person abhängig ist. Lernende mit geringem Vorwissen profitieren durch sequentiell strukturierte Lernmaterialien und Lernpfade, wohingegen Lernende mit hohem Vorwissen eher von offenen Lernangeboten, die

zur Exploration einladen, profitieren. (vgl. Kerres 2013, S. 158, Seufert et al. 2007, S. 37-38)

9.3 Germane cognitive load

Im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Belastungen darf der *germane cognitive load* bzw. die *Beanspruchung durch den Lernprozess* nicht als negative kognitive Belastung gesehen werden. Der *germane cognitive load* wird eher als positive Form der Belastung gesehen. Die aktive Auseinandersetzung mit und die Verarbeitung von Lerninhalten im Arbeitsgedächtnis wird nicht als Belastung, sondern als lernförderliche Aktivität gesehen. Freie Kapazitäten im Arbeitsgedächtnis werden für die eigentlichen Lernprozesse genutzt, die zur Bildung und Automatisierung von Schemata und zur Speicherung im Langzeitgedächtnis beitragen. Diese Prozesse erfordern eine mentale Anstrengung. Kerres listet nach Wolfgang Schnotz vier Aktivitäten, die zur Schemabildung und -automatisierung beitragen:

- *aktive Suche nach Mustern im Lernmaterial mit dem Ziel, kognitive Schemata zu bilden,*
- *Umstrukturierung des Materials, um eine Aufgabe einfacher zu lösen,*
- *aktive Anwendung von Lernstrategien (Lernstrategien, die noch nicht automatisiert sind),*
- *metakognitive Prozesse, die das eigene Denken und Lernen überwachen.*

(vgl. Kerres 2013, S. 157-158, Seufert et al. 2007, S. 38)

Bei der Gestaltung von Online-Lernmaterialien sollen alle drei Formen der kognitiven Beanspruchung berücksichtigt werden. Der *extraneous cognitive load* sollte so gering wie möglich gehalten werden, damit neben dem unvermeidbaren *intrinsic cognitive load* noch genügend freie Kapazitäten im Arbeitsgedächtnis für den *germane cognitive load* zur Verfügung stehen. In der folgenden Abbildung werden die Anteile der jeweiligen Aspekte der Cognitive Load Theory dargestellt, um eine möglichst lernförderliche Gestaltung des Lernmaterials zu erzielen.

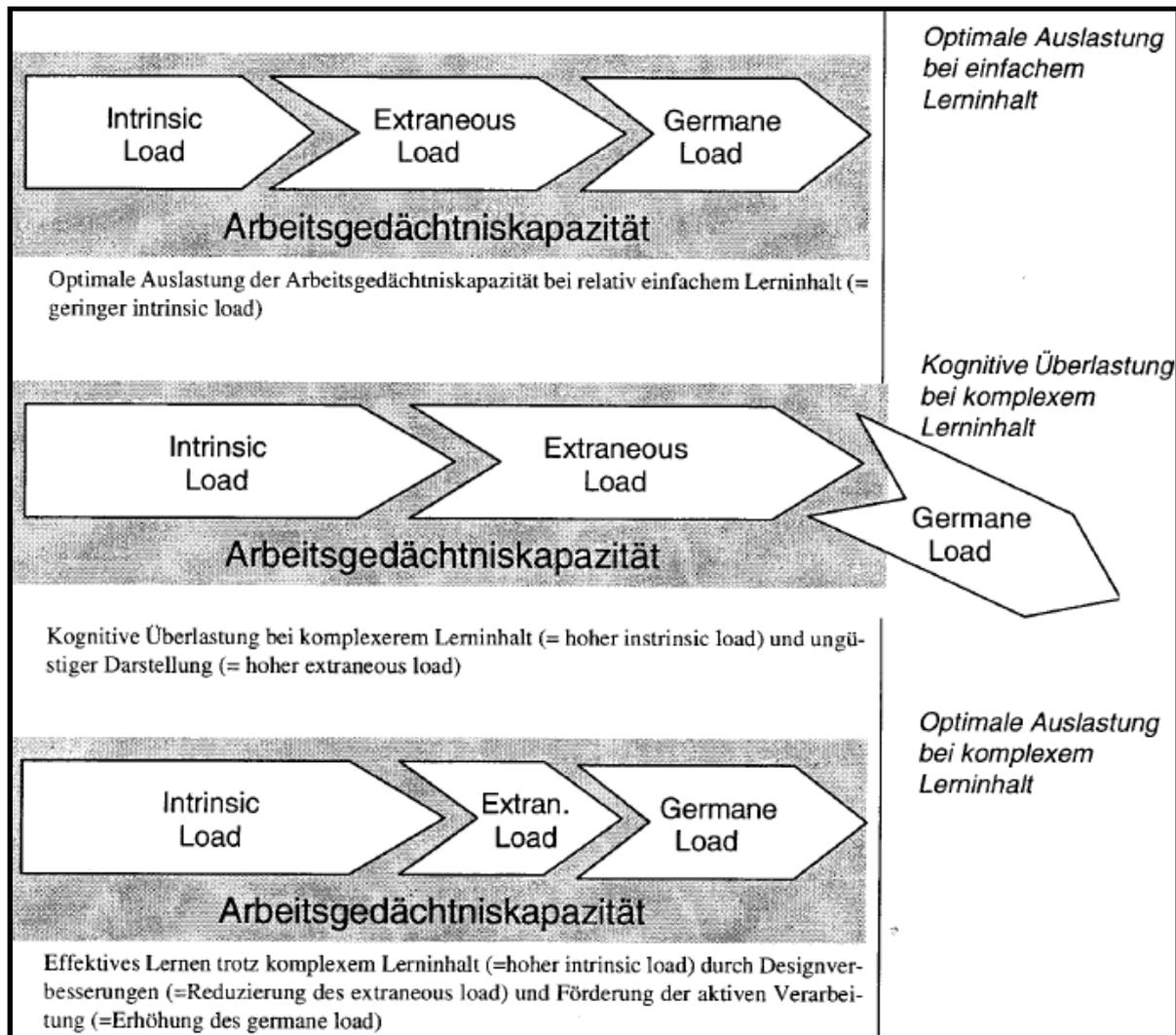


Abbildung 8: Anteile der jeweiligen Aspekte von cognitive load je nach Eigenschaft der Lernumgebung

In der Abbildung kann man sehen, dass es bei der Konzeption von Online-Lernmaterialien sehr wichtig ist, das Arbeitsgedächtnis beim Lernen angemessen auszulasten. Je nach Lerninhalt müssen die Materialien anders gestaltet sein, um noch genügend freie Kapazitäten übrig zu haben, um ein effektives Lernen zu ermöglichen. Es gibt nun verschiedene Ansätze für das Design von Lernmaterialien, um das Lernen zu unterstützen. Kerres führt folgende Punkte an:

- *Die Anzahl der Elemente, die gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis behalten werden müssen, um eine Lernaktivität auszuführen, sollte nicht zu hoch sein. Ein komplexer Lerngegenstand sollte eher in mehrere Lernaktivitäten aufgeteilt werden, um die Anzahl der Elemente bei jeder Lernaktivität zu reduzieren. Die Anzahl der Informationen, die im Arbeitsgedächtnis gehalten werden können, ist stark vom Level der Expertise der Lernenden abhängig.*

Aus diesem Grund ist es schwierig, eine allgemeine Aussage zu machen, ob eine Aufgabe das Arbeitsgedächtnis der Lernenden über- oder unterlastet.

- *Die Belastung, die durch die Lernaktivität selbst ausgelöst wird, sollte das Arbeitsgedächtnis maximal auslasten. Denn eine intensive Verarbeitung unterstützt die Elaboration und Kompilierung sowie den Aufbau und die Automatisierung von Schemata. Ist das Lernmaterial allerdings zu komplex, wird es schwierig das Material dauerhaft zu erinnern.*
- *Irrelevante Aspekte sind weitgehend zu minimieren. Sie belasten die Lernenden bei der Bearbeitung einer Aufgabenstellung unnötig. Gerade Personen mit wenigen Kenntnissen sind zusätzlich damit beschäftigt, irrelevante und relevante Informationen zu identifizieren.*

(Kerres 2013, S. 158-159)

10. Förderung der Kohärenzbildung

Die Cognitive Load Theory bietet nun zwei Möglichkeiten, wie durch die Art der Informationsgestaltung der Prozess der Kohärenzbildung gefördert werden kann.

10.1 Reduzierung des extraneous cognitive load

Wie oben zu lesen ist, wird durch eine ungünstige Art der Informationsdarstellung der *extraneous load* sehr hoch. Die freien Kapazitäten, die für den Wissenserwerb übrig bleiben, werden gering. Durch die unübersichtliche Darstellung wird auch die Kohärenzbildung erschwert, da die relevanten Elemente nur sehr schwer zu identifizieren sind. Durch eine gute, übersichtliche Informationsdarstellung wird die Informationsverarbeitung erleichtert und die sachfremde Beanspruchung verringert. Die Verbesserung des Designs und damit die Förderung der Kohärenzbildung können auf verschiedene Arten erfolgen. Zum Beispiel kann dem Lernenden das Erkennen wichtiger Elemente erleichtert werden, indem diese grafisch hervorgehoben werden. Durch räumliche Nähe von Informationen, die aufeinander bezogen werden müssen, können diese leichter in Zusammenhang gebracht werden. Das *structure mapping* kann z.B. durch die gleiche farbliche Gestaltung der in Verbindung stehenden Elemente in beiden Repräsentationen erleichtert werden. Diese Methode wird auch als *color coding* bezeichnet. Betrachtet man die Theorie von Mayer, so kann der extraneous load auch durch eine auditive Wiedergabe von bildbegleitenden Texten verringert werden. Durch solche Maßnahmen wird die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses besser ausgenutzt und es bleiben mehr kognitive Ressourcen für die Kohärenzbildung und andere Lernprozesse zur Verfügung. (vgl. Brünken et al. 2005, S. 63)

10.2 Erhöhung des germane cognitive load

Unter *germane load* sind alle Maßnahmen zu zählen, die eine lernförderliche Wirkung erzielen. In diesem Fall geht es speziell um Maßnahmen zur Förderung lokaler und globaler Kohärenzbildung. Durch die bereits zuvor erwähnte Förderung des *structure mapping* werden auch verstehensrelevante Verarbeitungsschritte und somit der *germane cognitive load* gefördert. Um die lokale Kohärenzbildung zu fördern, muss die Aufmerksamkeit des Lernenden gezielt auf die jeweiligen zentralen

Konzepte gelenkt werden. Dies kann bei Texten durch vertiefende Fragen zum Inhalt geschehen. Dadurch wird die Konzentration auf die relevanten Strukturen im Text gelenkt. Eine vertiefende Auseinandersetzung mit einem Bild kann durch Aufgaben für eine gezielte Bearbeitung einzelner Bildteile gefördert werden. (vgl. Brünken et al. 2005, S. 63-64)

Für die globale Kohärenzbildung müssen die Strukturen der einen Repräsentation auf die der anderen abgebildet werden. Dabei müssen die korrespondierenden Elemente der verschiedenen Repräsentationen gleichzeitig im Gedächtnis behalten werden. Eine Fokussierung auf diese Elemente kann durch das zuvor beschriebene *color coding* erreicht werden. Eine andere Möglichkeit stellen intra-textuelle Hyperlinks dar. Durch Anklicken markierter Begriffe im Text werden die korrespondierenden Elemente in der anderen Darstellungsform mit Pfeilen oder anderen Hilfsmitteln angezeigt. (vgl. Brünken et al. 2005, S. 64)

Bei all diesen Fördermaßnahmen ist darauf zu achten, dass sie tatsächlich den germane load erhöhen und lernförderlich wirken. Jede zusätzliche Information erhöht auch die kognitive Belastung beim Lernen. Wird der Lernprozess durch die Informationen nicht unterstützt, so bewirken diese wiederum eine Erhöhung des extraneous load und haben eine negative Auswirkung. Die Maßnahmen sollen den Lernprozess unterstützen, ohne dabei die kognitive Belastung zu stark zu erhöhen. (vgl. Brünken et al. 2005, S. 64)

11. Gestaltungsprinzipien zur Reduktion der kognitiven Beanspruchung

Mayer & Moreno sowie Kerres machen nun verschiedene Vorschläge, wie die kognitive Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses beim multimedialen Lernen reduziert werden kann:

- Zur Verhinderung eines „split-attention effect“ ist es vor allem bei Texten, die sich auf ein komplexes Bild oder eine komplexe Animation beziehen, besser, diese auditiv wiederzugeben. Der visuell-bildhafte Kanal des Lernenden wird so nur durch die Verarbeitung des Bilds bzw. der Animation beansprucht, da die auditive Textpräsentation gleich im (auditiv-) sprachlichen Kanal verarbeitet wird. Dadurch wird eine Überforderung des visuell-bildhaften Kanals vermieden.
Bei Bildern oder Animationen, die für die Lernenden als einfach angesehen werden, kann der Text auch visuell präsentiert werden.
- Komplexe Inhalte sollen in einzelne Segmente zerlegt werden. Wird der gesamte Inhalt zu schnell und im Ganzen präsentiert, so hat der Lernende nicht genügend Zeit, den in Mayers Modell beschriebenen Verarbeitungsprozess der Erzeugung eines visuellen bzw. verbalen Modells zu durchlaufen, der für ein erfolgreiches Lernen notwendig ist.
Eine Schritt-für-Schritt-Bearbeitung mit genügend Zeit zur Verarbeitung zwischen den einzelnen Teilen ermöglicht es dem Lernenden, Bilder und Wörter zu selektieren, zu organisieren und zu integrieren.
- Neben dieser Segmentierung des Inhalts gibt es für komplexe Inhalte auch noch die Möglichkeit des sogenannten Pretrainings. Hierbei erhält der Lernende Informationen zu einzelnen Bestandteilen des zu lernenden Inhaltsgebiets, bevor er lernt, wie die einzelnen Bestandteile zusammenspielen. Ein Beispiel hierfür ist eine Animation mit einer auditiven Erklärung für das Bremssystem eines Fahrzeugs. Durch das Pretraining weiß der Lernende bereits, wie die einzelnen Komponenten, z.B. eine Scheibenbremse, funktionieren und er kann sich während der Animation auf das Zusammenspiel der Komponenten konzentrieren. Ohne Pretraining müsste zeitgleich auch die Funktionsweise der

Einzelkomponenten gelernt werden, was schnell zu einer kognitiven Überlastung führen kann.

- Informationen sollen am besten als Text und als Bild/Animation abgebildet werden. Dadurch wird eine doppelte Kodierung der Informationen erleichtert und somit eine bessere Lernleistung erzielt.
- Animationen und Bilder sollen möglichst prägnant und grafisch reduziert sein. Wie bereits Dwyer 1981 zeigte, können Strichzeichnungen, die sich auf das Wesentliche konzentrieren, besser in Erinnerung behalten werden als fotorealistische Darstellungen. Genauso sollte bei Animationen zusätzlich auch auf Hintergrundmusik verzichtet werden. Alles, was nichts mit der Sache an sich zu tun hat, muss vom Lernenden aktiv ausgeblendet werden und erhöht somit die kognitive Belastung.
- Ist eine grafische Reduzierung nicht möglich, so können Pfeile oder andere Arten der Hervorhebung hinzugefügt werden. Dadurch kann dem Lernenden geholfen werden, die wichtigen Informationen herauszufinden und sein Gedächtnis zu entlasten.
- Gibt es zu einem Bild oder einer Animation eine Erklärung, so soll diese in unmittelbarer Nähe oder in das Bild bzw. in die Animation integriert sein. Auf diese Weise fällt es dem Lernenden leichter, herauszufinden, welcher Teil des Bilds bzw. der Animation mit dem Text in Verbindung zu bringen ist.
- Redundante Informationen sollen vermieden werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn der auditiv wiedergegebene Text zeitgleich auch visuell zu lesen ist. Durch die doppelte Präsentation desselben Inhalts wird das Arbeitsgedächtnis unnötig beansprucht.
Bei Kombination von Bild und Text soll darauf geachtet werden, dass die Informationen aus dem Bild nicht auf die gleiche Weise im Text wiederholt werden. Ein erläuternder Text kann Inhalte zusammenfassen und kommentieren. Es soll eine kleine Differenz zwischen der Aussage des Bildes und der Erläuterung bestehen.

- Bilder sollen vor dem zugehörigen Text eingefügt werden. Anfänger können sich daran orientieren und die Informationen aus dem Text in die Bilder integrieren. Wird ein Bild erst nach dem Text eingefügt, so kann es sein, dass der Lernende bereits eigene bildhafte Vorstellungen aufgebaut hat, die durch das Bild gestört werden.
- Wichtige Informationen sollen durch Hinweise gewichtet werden, z.B. durch Unterstreichen oder farbliche Hervorhebung. Dadurch kann der Lernende sofort erkennen, welche Inhalte besonders wichtig sind.
- Überflüssige Informationen zur Ausschmückung des Lernangebots sollen weggelassen werden. Müssen erst die relevanten von den irrelevanten Informationen getrennt werden, so steigt dadurch die kognitive Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses.

(vgl. Mayer, Moreno 2003; Kerres 2013, S. 170-172)

Bei all diesen Möglichkeiten ist aber auch darauf zu achten, dass die kognitive Beanspruchung nicht zu gering wird und es dadurch nicht zu einer *Unterforderung* kommt. In einer Studie zeigten Schnotz und Rasch, dass Animationen auch negative Auswirkungen haben können. Ihre Animation, die die Drehung der Erde um die eigene Achse simulierte, verringerte zwar die kognitive Beanspruchung, allerdings wurde auch der für den Lernprozess wichtige *germane cognitive load* reduziert. Ihre Ergebnisse zeigten, dass der Lernerfolg bei statischen Bildern höher war als bei der Animation. Bei den Animationen war das Arbeitsgedächtnis zu gering ausgelastet, wohingegen sich der Lernende bei den statischen Bildern die Drehung der Erde selbst vorstellen musste und die kognitive Beanspruchung dadurch höher war. (vgl. Kerres 2013, S. 159; Schnotz, Rasch 2005)

Das Arbeitsgedächtnis darf also weder zu stark noch zu schwach ausgelastet sein, damit sich eine optimale Lernleistung einstellen kann. Entscheidend für die Gestaltung von Lernmaterialien wird auch das vorrangige Lernziel sein. Will man lernen, mit komplexen Materialien umzugehen, weil es z.B. für eine bestimmte

Berufssparte alltäglich ist, mit komplexen Dingen umgehen zu können, so wird man die Komplexität des Materials eher höher auslegen. (vgl. Kerres 2013, S. 160)

Abschließend muss noch erwähnt werden, dass zusätzlich zu den oben genannten Prinzipien vor allem auch das Vorwissen, die Vorerfahrungen und die persönlichen Lerneigenschaften des Lernenden eine entscheidende Rolle spielen, ob er mit einem Lernmaterial gut oder schlecht lernen kann. Zum Beispiel tun sich Lernende mit einem guten räumlichen Vorstellungsvermögen leichter, bildliche Informationen zu verarbeiten als Lernende mit einem schlechten räumlichen Vorstellungsvermögen. Informationen, die für einen unerfahrenen Lerner einen wichtigen Beitrag zum Verstehen des Kontexts darstellen, können für einen erfahrenen Lerner bereits redundante Informationen sein, die aktiv ausgeblendet werden müssen und somit zu einer höheren Beanspruchung führen. Diesen Effekt haben Kalyuga et. al 2003 als Expertise Reversal Effect beschrieben. (vgl. Seufert et al. 2007, S. 44-45)

In der folgenden Tabelle sind verschiedene Gestaltungsprinzipien und deren Wirkung auf Novizen und Experten aufgelistet:

Gestaltungsprinzip	Wirkung auf Novizen	Wirkung auf Experten
Verwendung von Text und Bild	<i>positiver Effekt</i> Das Bild erleichtert dem Novizen die visuelle Vorstellung des Sachverhalts, was alleine mit Texten oft nur schwer möglich ist.	<i>neutraler oder negativer Effekt</i> Der Experte kann sich den Sachverhalt auch ohne Bild visuell vorstellen. Das Bild ist überflüssig, redundant.
Integrierte Darstellung von Text und Bild	<i>positiver Effekt</i> Erleichtert dem Lernenden die Integration von zusammengehörender Text- und Bildinformation.	<i>negativer Effekt</i> Die Textinformation ist für Experten eine redundante Informationsquelle, die aktiv ignoriert werden muss.

Verwendung kohärenter Informationen	<i>positiver Effekt</i> Erleichtert dem Lernenden die Integration von zusammengehörender Text- und Bildinformation.	<i>neutraler oder negativer Effekt</i> Dem Lernenden wird die Kohärenzbildung abgenommen; Gefahr der oberflächlichen Verarbeitung.
Nur notwendige Informationen geben	<i>negativer Effekt</i> Lässt man alle redundanten Informationen weg, verhindert man Wiederholungen und vertiefte Verarbeitung.	<i>positiver Effekt</i> Es müssen keine redundanten Informationen aktiv ignoriert werden.

(Seufert et al. 2007, S. 46)

Die in den vorangegangenen Seiten erarbeiteten Theorien und Konzepte stellen nun eine solide Grundlage für die Analyse der Lernmaterialien aus dem Internet dar. Die Lernmaterialien werden dahingehend untersucht, ob bei deren Gestaltung die vorgestellten Theorien und Konzepte erkennbar berücksichtigt worden sind oder nicht. Je besser die erarbeiteten Erkenntnisse in der Gestaltung der Lernmaterialien umgesetzt worden sind, desto eher sollte der Lernerfolg bei diesen Materialien begünstigt sein.

12. Analyse der Lernmaterialien aus dem Internet

12.1 Auswahl der Lernmaterialien

Die Auswahl der Lernmaterialien sollte sich an einem möglichst realistischen Szenario orientieren, wie eine Lehrkraft neue Materialien aus dem Internet auswählt. Deshalb wurden verschiedene Schlagwortsuchen über Google durchgeführt und die Ergebnislisten nach brauchbaren Unterrichtsmaterialien durchsucht. Bei der Auswahl wurde nicht nach gut oder schlecht unterschieden, sondern lediglich ob die gefundenen Materialien, von Aufbau und Inhalt her betrachtet, theoretisch im Unterricht eingesetzt werden könnten oder nicht.

Bei den Arten der Lernmaterialien wurden bei den beiden Themengebieten unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt. Bei der Differentialrechnung wurde das Hauptaugenmerk auf Übungsapplets anstelle von Lernpfaden gelegt. Bei quadratischen Funktionen wurden vor allem Lernpfade ausgewählt. Der Grund für diese Aufteilung liegt in der durchgeführten Untersuchung in der Schule. Die Schülerinnen und Schüler der 7. Klasse hatten bereits den gesamten Themenblock Differentialrechnung durchgenommen. Für sie würden die Inhalte eines Lernpfads nichts Neues darstellen, weshalb sie verschiedene Übungsapplets ausprobieren sollten. In der 5. Klasse wurde das Themengebiet quadratische Funktionen auf Anfang des nächsten Schuljahres verschoben. Deshalb würde für diese Schülerinnen und Schüler das Thema noch unbekannt sein. Aus diesem Grund sollten sie für die Untersuchung Teile verschiedener Lernpfade durcharbeiten.

Eine weitere Einschränkung bei der Auswahl stellte die Implementierung der Lernmaterialien dar. Seit einiger Zeit existiert in der Programmiersprache *Java* eine größere Sicherheitslücke, weshalb die Ausführung Java-basierter Programme im Internet von den Browsern automatisch blockiert wird. Leider sind sehr viele Applets mit *Java* erstellt, wodurch für viele Lernmaterialien ein Problem bei der Darstellung entsteht. Die Blockierung kann zwar umgangen werden, allerdings sind dazu zwei Schritte notwendig: Es muss die neueste *Java*-Version installiert werden und die Sicherheitseinstellung muss in der Systemsteuerung (bei *Windows*) nach unten zurückgestellt werden. Neuere Applets sind bereits mit *JavaScript* erstellt und verursachen keine Probleme. *JavaScript* hat mit *Java* nur geringe Gemeinsamkeiten.

Bei JavaScript handelt es sich um eine reine Skriptsprache (auf Text basierend), welche in HTML-Dokumenten ausgeführt werden kann. Java ist hingegen eine vollständige Programmiersprache und daher mächtiger.

Um der Problematik mit Java in der Schule zu entgehen, wurde versucht, bei den empirischen Untersuchungen hauptsächlich auf JavaScript-basierte Lernmaterialien zurückzugreifen. Deswegen spielte auch dieses Kriterium bei der Auswahl der Materialien eine Rolle.

Schließlich wurden Lernmaterialien von den folgenden Webadressen für die Analyse ausgewählt:

Differentialrechnung:

www.mathe-online.at (1 Illustration und verschiedene Applets)

tube.geogebra.org (1 Applet)

www.matheprisma.de (Lernpfad)

Quadratische Funktionen:

www.schoett-web.de (Lernpfad)

wikis.zum.de (Lernpfad)

www.juergen-roth.de (Lernpfad)

12.2 Vorgehen bei der Analyse

Die einzelnen Analysen der verschiedenen Lernmaterialien gliedern sich in mehrere Abschnitte.

- Allgemeine Informationen zur Webseite und den gewählten Lernmaterialien
- Mathematische Inhalte
- Gliederung und Übersicht (nur bei Lernpfaden)
- Beschreibung der Lernumgebung
- Analyse
- Analyse der mathematischen Inhalte (nur bei Lernpfaden)
- Fazit

Bei der Analyse liegt das Hauptaugenmerk auf der Gestaltung der Materialien im Hinblick auf die oben vorgestellten Theorien. Es wird versucht herauszuarbeiten, ob die Repräsentation der Inhalte in einer für den Lernerfolg begünstigenden Art und Weise erfolgt. Die Kriterien für diese Analysen leiten sich von den vorgestellten theoretischen Grundlagen, insbesondere von den Maßnahmen zur Förderung der Kohärenzbildung und den Gestaltungsprinzipien zur Reduktion der kognitiven Beanspruchung, ab. Darin finden sowohl die Informationsverarbeitungsprozesse sowie die Cognitive Load Theory eine Berücksichtigung. Allerdings werden nicht alle Gestaltungsprinzipien für die Analysen herangezogen. Der von Mayer beschriebene Effekt einer besseren Lernleistung durch die auditive Wiedergabe von Texten, die sich auf Bilder beziehen, wird als Kriterium nicht berücksichtigt. Im Unterricht wären Lernmaterialien mit großen auditiven Anteilen kaum anwendbar. Es würde unweigerlich zu einem Durcheinander kommen, wenn auf allen PCs verschiedene Wiedergaben laufen würden, sofern keine Kopfhörer für sämtliche Schülerinnen und Schüler vorhanden wären. Deshalb wird dieses Gestaltungsprinzip in den Analysen nicht berücksichtigt.

Die Analysen orientieren sich an folgenden Kriterien:

1. Sind die Inhalte in einzelne Segmente zerlegt oder ohne Unterteilung dargestellt?
2. Wird die Methode des <i>Pretrainings</i> genutzt?
3. Werden Informationen als Text und Bild/Applet vermittelt, um eine doppelte Kodierung zu erleichtern?
4. Sind Grafiken prägnant und grafisch <i>reduziert</i> dargestellt?
5. Wie groß ist die räumliche Nähe von zusammengehörigen Informationen (z.B. Bild/Applet und dazugehörige Erklärung)? Können zusammengehörende Inhalte am Bildschirm überblickt werden oder muss hin und her gescrollt werden?
6. Wird die Kohärenzbildung von gleichen Elementen in Text und Bild/Applet durch Hinweise erleichtert?
7. Sind Bilder/Applets <i>vor</i> den zugehörigen Texten eingefügt?

8. Sind wichtige Informationen durch Hinweise, wie Unterstreichen, fett gedruckte Darstellung oder farbliche Hervorhebung (Schrift, Hintergrund), markiert?
9. Werden überflüssige Informationen zur Ausschmückung des Lernangebots dargestellt?
10. Sind die Inhalte kompakt mit genügend Seiteneinzug dargestellt oder muss die gesamte Bildschirmbreite überblickt werden?
11. Sind die einzelnen Abschnitte klar voneinander getrennt (Einrahmung, verschieden farblicher Hintergrund)?
12. Werden Hilfestellungen angeboten?
13. Sind Farbe und Größe der Elemente (Schrift, Bilder, Applets, Graphen) so gewählt, dass diese ohne große Anstrengung wahrgenommen werden können und die Bearbeitung des Lernmaterials bzw. der Aufgabe nicht unnötig erschwert wird?

Aufgrund der Verschiedenartigkeit der Lernmaterialien – einzelne Applets oder Lernpfade – können bei den einzelnen Analysen nicht jeweils alle Kriterien berücksichtigt werden. In den Analysen werden auch teilweise individuelle Gestaltungsmerkmale hervorgehoben, die nicht direkt einem dieser Kriterien zuzuordnen sind, aber aus Sicht der vorgestellten Theorien Einfluss auf den Lernprozess haben.

Zu den Kriterien bezüglich der Bildschirmdarstellung im Browser (Scrollen, kompakte Darstellung, Größe der Elemente) ist zu erwähnen, dass natürlich die Browsereinstellungen für die Darstellungsgröße der Inhalte einen Einfluss auf die Überschaubarkeit der Elemente haben. Auch das Format des Bildschirms (16:9 oder 4:3) spielt für das Erscheinungsbild der Inhalte eine Rolle. Für die Analyse wurde als Internetbrowser *Mozilla Firefox* (Versionen 30.0 bis 32.0.3) mit der Standardeinstellung der Darstellungsgröße verwendet. Das Bildschirmformat betrug 16:9.

In den Analysen wird weiters versucht, die Lernmaterialien mit den vorgestellten klassischen Lerntheorien in Verbindung zu bringen. Zum Abschluss werden auch noch kurz die jeweiligen mathematischen Inhalte analysiert.

Trotz des Versuchs möglichst objektiv zu sein, wird eine subjektive Sichtweise auf die Lernmaterialien nicht vollkommen auszuschließen sein. Dadurch, dass jeder ein individuell etwas unterschiedliches Lernverhalten aufweist, kann es bei manchen Aspekten zu unterschiedlichen Auffassungen kommen, ob diese als den Lernerfolg beeinflussend oder nicht beeinflussend zu bewerten sind.

12.3 Differentialrechnung

12.3.1 www.mathe-online.at

mathe online ist eine Galerie multimedialer Lernhilfen für Schule, Fachhochschule, Universität und Selbststudium. Das Projekt wurde im März 1998 gestartet und das Angebot auf der Webseite wird seitdem laufend erweitert. Der Großteil der Beiträge stammt von Franz Embacher und Petra Oberhuemer, beide von der Universität Wien. Das Ziel dieser sehr umfangreichen Galerie wird von den beiden folgendermaßen beschrieben:

„Die technischen und gesellschaftlichen Entwicklungen moderner elektronischer Kommunikationstechnologie ermöglichen neue Formen des Lernens und Verstehens abstrakter Sachverhalte. Sowohl der traditionelle Schulunterricht als auch die verschiedenen Bereiche des Studiums, Selbststudiums, der Nachhilfe und der Erwachsenenbildung sind davon betroffen.

mathe online versucht, dieser Situation Rechnung zu tragen, moderne didaktische Konzepte durch multimediale und interaktive Techniken zu realisieren und damit zur Entwicklung von zeitgemäßen Standards für die Bereiche Schule, Universität und Erwachsenenbildung beizutragen.“ ([mo])

In der Übersicht *„Ressourcen zu mathematischen Themen in mathe online“* befindet sich eine in Kapitel gegliederte Auflistung zu den verschiedenen mathematischen Themenbereichen. Für den Bereich Differentialrechnung gibt es mehrere Kapitel. Für die nachfolgende Analyse wurden nur Materialien aus dem Kapitel *„Differenzieren 1“* herangezogen, da dort Grundlegendes zur Differentialrechnung behandelt wird.

Dieses Kapitel gliedert sich in folgende Teile:

- Text zum Stoff
- Interaktive Lernhilfen und Tests
- Film- und Audio-Clips
- Werkzeuge
- Aufgaben und Arbeitsblätter
- Lernpfade
- Weitere Ressourcen aus dem Open Studio

Die analysierten Materialien entstammen aus dem Text zum Stoff und aus den interaktiven Lernhilfen und Tests.

Der Text zum Stoff beinhaltet die mathematischen Hintergründe zur Einführung in die Differentialrechnung und beginnt mit einer kurzen Zusammenfassung der benötigten mathematischen Voraussetzungen für dieses Themengebiet. Danach wird zunächst versucht, ein intuitives Verständnis für die Ableitung einer Funktion an einer Stelle zu vermitteln, bevor mit ihrer konkreten Berechnung fortgesetzt wird. In weiterer Folge werden vier einfache Beispiele erklärt und die verschiedenen Rede- und Schreibweisen für die Ableitung thematisiert. Im Anschluss werden sechs Ableitungsregeln vorgestellt, bevor es mit Ableitungen spezieller Funktionen, wie Potenz-, Winkel- oder Exponentialfunktionen, weitergeht. Im nächsten Schritt wird der Zusammenhang zwischen Ableitung, Monotonie, Extrema und Wendepunkten vorgestellt. Bevor das Kapitel mit einem Ausblick auf weitere Kapitel zum Thema Differentialrechnung endet, wird noch kurz auf die Ableitung als Änderungsrate und auf Computerprogramme zum Berechnen von Ableitungen eingegangen.

Für die Analyse wurden nun folgende Materialien herangezogen:

- Steigungen in der Landschaft:
Dies ist eine Illustration für die Zusammenhänge der Eigenschaften einer Funktion und den Eigenschaften ihrer Ableitungsfunktion. Diese Illustration soll dazu dienen, ein intuitives Verständnis für die Ableitung aufzubauen, noch bevor die Lernenden wissen, wie die Ableitung genau definiert ist.
- Ableitungs-Puzzle 1, 2, 3:
Diese drei Applets schließen direkt an. Es soll geübt werden, den Zusammenhang zwischen Graphen von Funktionen und ihren Ableitungsfunktionen zu verstehen und die Graphen aufeinander zu beziehen.
- Das große Ableitungspuzzle:
In diesem Test wird überprüft, ob man in der Lage ist, Graphen von Funktionen und Ableitungen aufgrund erkennbarer Eigenschaften einander zuzuordnen.

Steigungen in der Landschaft

Webadresse: http://www.mathe-online.at/mathint/diff1/i_Landschaft.html

Mathematische Inhalte:

Mit dieser Illustration soll ein intuitiver Zugang zur Ableitungsfunktion gegeben werden. Es sollen die wichtigen Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften einer Funktion und den Eigenschaften ihrer Ableitungsfunktion veranschaulicht werden. Es wird erstmals auf wichtige Begriffe wie Hochpunkt, Tiefpunkt, Maximum, Minimum, Extremum und Wendepunkt hingewiesen, die in späterer Folge bei der Differentialrechnung auftreten werden. Die einzelnen Begriffe werden hier aber noch nicht exakt definiert, sie werden nur namentlich erwähnt und es wird kurz beschrieben, was sie bedeuten. Außerdem wird auf den Zusammenhang zwischen dem Monotonieverhalten der Funktion und den Werten der Ableitungsfunktion verwiesen.

Beschreibung der Lernumgebung:

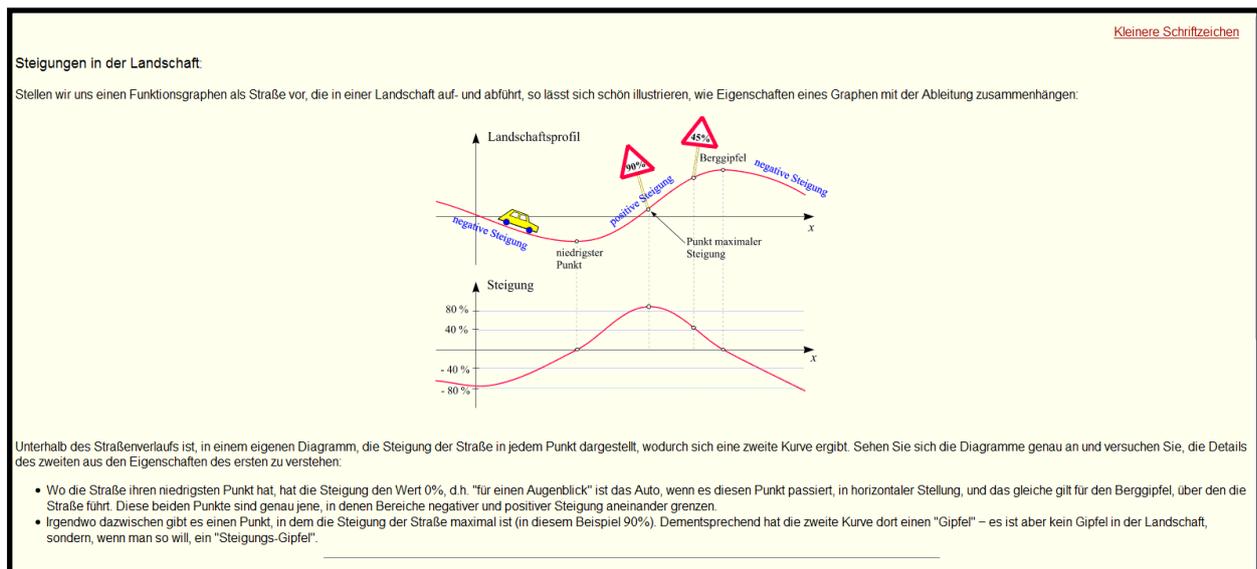


Abbildung 9: Steigungen in der Landschaft

Die Illustration beginnt mit dem Landschaftsprofil einer auf- und abführenden Straße. Dass es sich um eine Straße handelt, wird durch ein kleines gelbes Auto und durch zwei Verkehrszeichen, die die Steigung in Prozent angeben, angedeutet. Direkt unterhalb dieses Landschaftsprofils ist der Graph der Steigungen in einem Koordinatensystem eingezeichnet. Markante Punkte des Landschaftsprofils

(niedrigster Punkt, Punkt maximaler Steigung, höchster Punkt) sind durch strichlierte Linien mit dem Graph der Steigungen verbunden.

Unterhalb dieser Grafik ist dann in einfacher Form erklärt, was in der Abbildung zu sehen ist. Durch Aufzählungszeichen hervorgehoben, werden die zwei wichtigsten Erkenntnisse aus der Abbildung erläutert. Nach diesen Erklärungen folgt in der Mitte ein kleiner Querstrich.

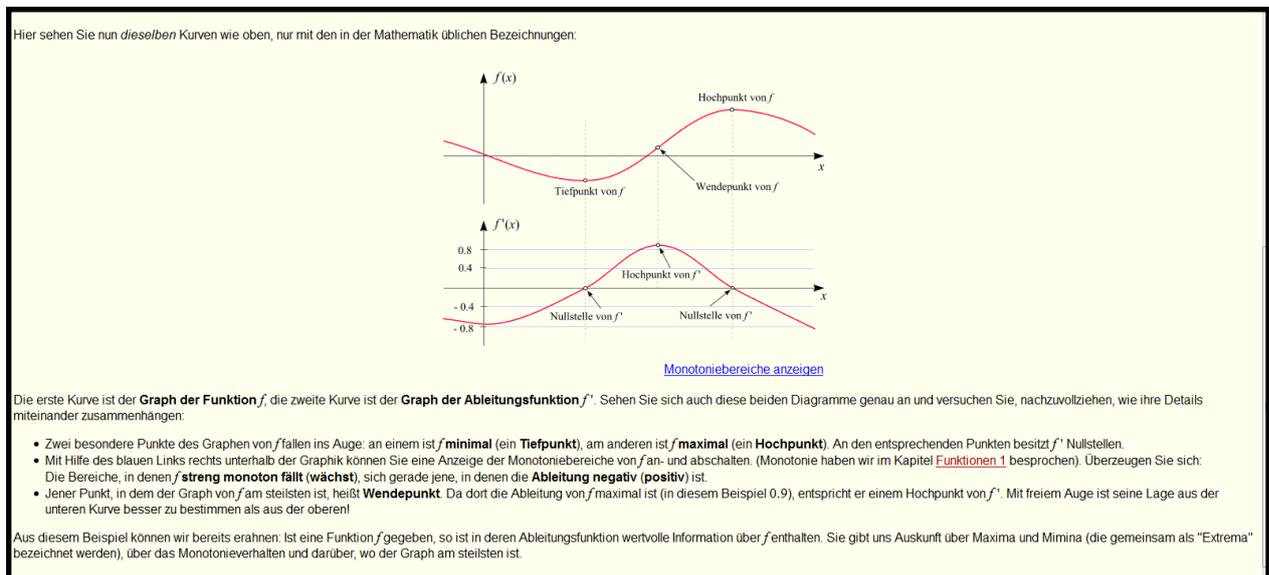


Abbildung 10: Mathematisches Modell

Als nächstes folgt nun fast die gleiche Abbildung wie zuvor, nur dass jetzt sozusagen das reale Modell von oben in ein mathematisches Modell überführt worden ist. Die y -Achsen sind jetzt mit $f(x)$ und $f'(x)$ beschriftet und die eingezeichneten Punkte sind jetzt mit ihren mathematischen Bezeichnungen beschriftet. Außerdem ist bei dieser Grafik zusätzlich eine kleine Schaltfläche integriert, mit der die Monotoniebereiche angezeigt werden können.

Unterhalb der Abbildung folgt ein kurzer erklärender Text dazu. Die drei wichtigsten Erkenntnisse, die aus der Abbildung gezogen werden sollen, sind mit Bullet-Points aufgelistet. Wichtige Begriffe sind dabei fett geschrieben.

Der Text erstreckt sich über die gesamte Fensterbreite. Die Schriftgröße kann über eine Schaltfläche am rechten oberen Rand variiert werden (zwei Möglichkeiten: größere oder kleinere Schriftzeichen).

Analyse:

Betrachtet man die Illustration unter dem Gesichtspunkt der oben vorgestellten Theorien, so ist dieser Ausschnitt des Kapitels „Differenzieren 1“ sehr gut gelungen. Viele der Gestaltungsprinzipien wurden in der Illustration umgesetzt:

- Die Grafiken sind jeweils vor der dazugehörenden Erklärung eingefügt und somit für eine geringe kognitive Belastung genau richtig positioniert.
- Die Darstellung des Landschaftsprofils ist grafisch auf ein Minimum reduziert und dadurch für Anfänger gut geeignet.
- In der zweiten Grafik können die Monotoniebereiche ein- und ausgeblendet werden. Dadurch erhöht sich die Übersichtlichkeit und die Grafik wirkt nicht überfüllt.
- Die Verbindung der markanten Punkte in beiden Graphen durch strichlierte Linien ist eine doppelte Erleichterung:
 - Einerseits fällt es dadurch leichter, die beiden Darstellungen miteinander zu vergleichen.
 - Andererseits wird dadurch die Aufmerksamkeit gleich auf die für den Vergleich entscheidenden Punkte gelenkt.
- Die Grafiken und die jeweiligen Erklärungen dazu sind direkt untereinander abgebildet. Durch diese räumliche Nähe können beide Darstellungen gleichzeitig ohne scrollen zu müssen betrachtet werden. Dadurch bleibt der *extraneous cognitive load* gering gehalten. Außerdem wird durch die räumliche Nähe der Kohärenzbildungsprozess unterstützt.
- Der Kohärenzbildungsprozess wird auch dadurch unterstützt, dass in den Grafiken nur jene Punkte eingezeichnet sind, die in den Erklärungen erwähnt werden. Dadurch können die jeweiligen beschriebenen Punkte in den Grafiken sehr leicht identifiziert werden.

- Die Bullet Points bei den jeweiligen Erklärungen helfen festzustellen, wie viele verschiedene Erkenntnisse aus den Abbildungen gezogen werden können. Durch diese Form der Hervorhebung erhöht sich auch die Übersichtlichkeit. Würde hier alles im Fließtext geschrieben stehen, wäre die kognitive Beanspruchung um einiges höher, da man sich viel stärker konzentrieren müsste, um diese Aspekte herauszufinden.
- Durch den kleinen Querstrich in der Mitte der Seite wird klar, dass der erste Teil abgeschlossen ist. Die folgenden Inhalte stellen etwas Neues dar. Es erfolgt eine klare Trennung zwischen den Abschnitten.
- Bei der zweiten Auflistung sind die wichtigen Begriffe (Hochpunkt, Tiefpunkt, maximal, minimal, etc.) fett gedruckt dargestellt. Durch diese Hervorhebung springen sie gleich ins Auge und es wird sofort klar, dass diese Begriffe essentiell sind.
- Die Darstellung der Inhalte in bildlicher und textueller Form erleichtert eine doppelte Kodierung, wodurch eine bessere Lernleistung erzielt werden kann.

Die Illustration ist an und für sich übersichtlich gestaltet. Die Übersichtlichkeit leidet lediglich etwas darunter, dass sich der geschriebene Text über die gesamte Bildschirmbreite erstreckt. Hier wäre es besser, wenn der Text etwas bündiger mit mehr Einzug auf beiden Seiten dargestellt werden würde. Dies würde die Darstellung etwas kompakter und leichter überschaubar machen.

Die veränderbare Größe der Schriftzeichen ist eine gute Idee. Dadurch kann die Textdarstellung etwas dem individuellen Geschmack angepasst werden.

Diese Illustration bietet sich sehr gut für eine der ersten Einheiten zum Thema Differentialrechnung an. Noch bevor die Ableitung berechnet werden kann, kann so eine intuitive Vorstellung zur Ableitungsfunktion generiert werden.

Fazit:

Dieser Teil des Kapitels „Differenzieren 1“ ist inhaltlich und gestalterisch sehr gut konzipiert. Der inhaltliche Zugang zunächst über ein anschauliches Bild einer Straße in der Landschaft bevor eine Funktion betrachtet wird, ist eine gute Abwechslung. Der aus dem Alltag bekannte Steigungsbegriff, den die Schülerinnen und Schüler von den Verkehrszeichen für die Steigung bzw. das Gefälle einer Straße kennen, wird hier gut integriert. Dieser Zugang wirkt auf viele Schülerinnen und Schüler wahrscheinlich motivierender als ein rein abstrakter Einstieg über einen „gewöhnlichen“ Funktionsgraphen.

Gestalterisch sind viele Kriterien für eine Reduzierung der kognitiven Beanspruchung umgesetzt, weshalb es hier auch fast keine Verbesserungsvorschläge gibt. Einzig die Einzüge an den Rändern bei maximierter Fenstergröße könnten etwas größer sein, um eine kompaktere Struktur des Textes und damit eine größerer Übersichtlichkeit zu erhalten.

Ableitungs-Puzzle 1,2,3

Webadresse: [http://www.mathe-online.at/mathint/diff1/applet_b_ablpuzzle\[1,2,3\].html](http://www.mathe-online.at/mathint/diff1/applet_b_ablpuzzle[1,2,3].html)

Mathematische Inhalte:

In diesen drei Applets soll der Lernende üben, den Zusammenhang zwischen Graphen von Funktionen und ihren Ableitungsfunktionen zu verstehen und die Graphen aufeinander zu beziehen. Im Menüpunkt „Didaktischer Hintergrund“ der drei Applets wird die Übung folgendermaßen beschrieben: „Die Übung dient zur Festigung des Ableitungsbegriffs. Zu ihrer erfolgreichen Lösung ist hauptsächlich eine qualitative Vorstellung des Differentiationsprozesses notwendig. Zudem ist zur Feinabstimmung ein quantitatives Verständnis hilfreich.“ ([mo_Abl1])

Zur erfolgreichen Bearbeitung der Puzzles ist es also nicht notwendig, Ableitungen bereits berechnen zu können. Man muss lediglich eine Vorstellung davon haben, was die Ableitung an einer Stelle inhaltlich bedeutet, nämlich die Steigung der Tangente an den Graphen im entsprechenden Punkt des Funktionsgraphen.

Beschreibung der Lernumgebung:

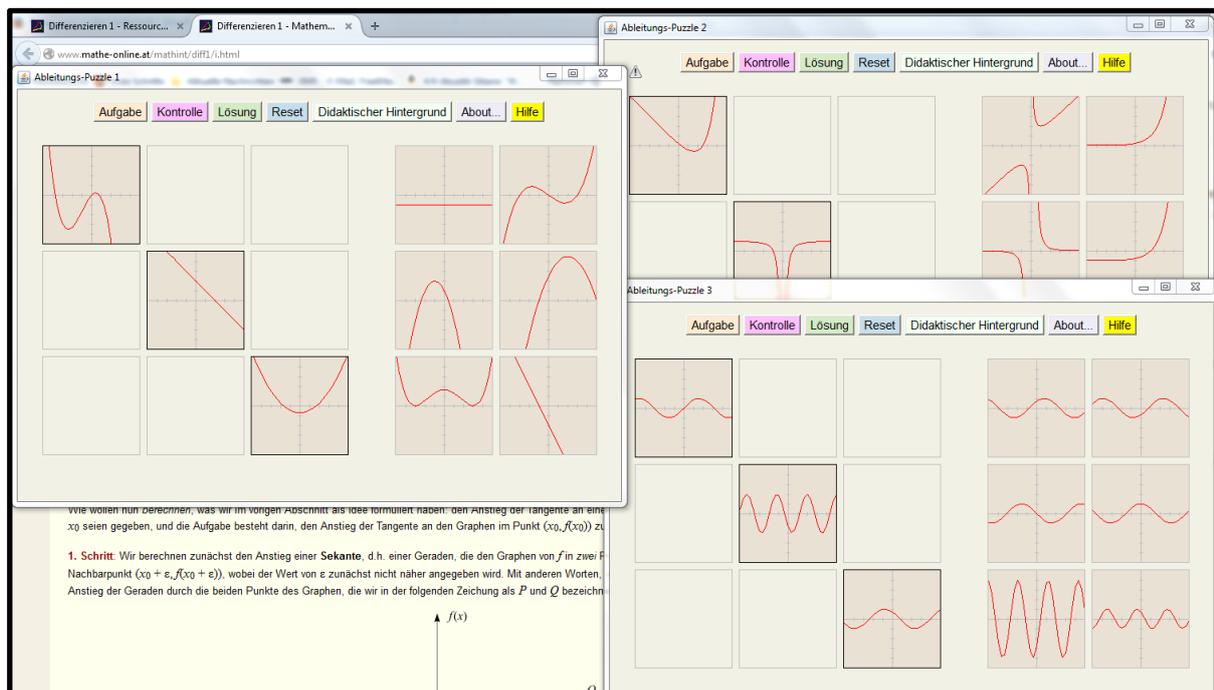


Abbildung 11: Ableitungs-Puzzles 1, 2, 3

Die drei Ableitungs-Puzzles sind im Prinzip völlig identische Applets zum Einüben der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Graphen der Ausgangsfunktionen und ihrer Ableitungsfunktionen. Der Schwierigkeitsgrad ist von Puzzle zu Puzzle ansteigend. Zunächst sind Graphen von einfachen Polynomfunktionen gegeben, im zweiten Puzzle sind Graphen von gebrochen rationalen Funktionen und Exponentialfunktionen abgebildet und im dritten sind schlussendlich Winkel-funktionen gegeben.

Die Aufgabe besteht darin, ein Feld aus 3 x 3 Kästchen so aufzufüllen, dass unterhalb eines Funktionsgraphen jeweils der Graph der zugehörigen Ableitungsfunktion steht. Zu Beginn ist nur die Diagonale des Felds gefüllt, die restlichen sechs Funktionsgraphen müssen in die richtigen Kästchen gezogen werden.

Das Applet ist sehr schlicht gehalten. Die Graphen sind rot vor einem grauen Hintergrund eingezeichnet. Sämtliche weitere Informationen wie die Aufgabenstellung oder didaktische Hintergrundüberlegungen müssen erst über verschiedenfarbige Schaltflächen in einem neuen Fenster geöffnet werden.

Analyse:

Das Applet ist an und für sich gut gestaltet. Es gibt allerdings einen Kritikpunkt: Die Aufgabenstellung ist anfangs nicht ersichtlich. Dies führt zu dem Problem, dass viele zuerst einmal herumspielen werden, um sich im Applet zurechtzufinden. Erst danach wird vielleicht noch die Aufgabenstellung aufgerufen. Deshalb wäre es hier besser, die Aufgabenstellung kurz und bündig über das Feld zu schreiben, um mögliche Unklarheiten zu beseitigen.

Ansonsten ist die Gestaltung bezüglich der Analyse Kriterien nicht schlecht gemacht:

- Die Schaltflächen am oberen Rand sind alle in verschiedenen Farben hervorgehoben. Dadurch heben sie sich vom grauen Hintergrund ab und können leicht erkannt werden.
- Die rot eingezeichneten Graphen bilden einen guten Kontrast zu dem grauen Hintergrund. Dadurch können sie leicht erkannt werden und die Lösung der Aufgabe wird nicht unnötig erschwert.

- Die in die freien Kästchen einzufügenden Graphen sind direkt neben dem Feld platziert, wodurch alle Graphen auf einmal überblickt werden können. Dadurch wird die kognitive Beanspruchung beim Suchen des passenden Graphen gering gehalten.
- Zusätzliche Informationen wie didaktischer Hintergrund, Informationen über die Entwickler oder Hilfestellung zur Bedienung sind über Schaltflächen in eigenen Fenstern zu öffnen. Das hat den Vorteil, dass keine unnötigen Informationen, die für die eigentliche Bearbeitung von keinerlei Bedeutung sind, ablenken können. Man kann sich rein auf die Graphen konzentrieren.
- Hat man Graphen falsch zugeordnet und klickt auf den Kontroll-Button, so erscheint in blauer Schrift über den falsch zugeordneten Graphen ein Hinweis, warum hier ein anderer Graph stehen muss, z.B. „*Falsch, denn hier muss eine Funktion stehen, die genau zwei Nullstellen (bei ungefähr $x=-2.4$ und $x=0.5$) hat.*“ Somit wird hier dem Lernenden eine Hilfestellung gegeben, die bei einem möglichen Verständnisproblem weiterhelfen kann.

Für die Bearbeitung der Puzzles ist es nicht notwendig, Ableitungen bereits berechnen zu können. Deswegen sind diese Applets bereits im Unterricht einsetzbar, nachdem der Ableitungsbegriff eingeführt worden ist.

Es ist gut, dass verschiedene Funktionstypen verwendet werden. Dadurch erhalten die Lernenden einen guten Überblick über die Graphen von verschiedenen Funktionen und deren Ableitungsfunktionen. Sehr Interessierte können bei genauer Betrachtung möglicherweise schon Vermutungen über Ableitungsregeln aufstellen.

Die Ableitungs-Puzzles weisen zunächst behavioristische Merkmale auf. Für den Behaviorismus spricht das Aneignen einer bestimmten Verhaltensweise zur richtigen Lösung dieser Art von Aufgaben. Andererseits können die Puzzles aber auch der Lerntheorie des Kognitivismus zugeordnet werden. Das zuvor erlernte Wissen über den Ableitungsbegriff muss bei diesen Übungen auf verschiedene Fälle angewandt werden. Um zur Lösung zu gelangen, muss die Bedeutung der Ableitung verstanden worden sein.

Fazit:

Die Ableitungs-Puzzles sind zum Einüben des Zusammenhangs von Funktion und Ableitungsfunktion gut geeignet. Es wird eine große Bandbreite an verschiedenen Funktionstypen abgedeckt.

Bei der Gestaltung ist ebenfalls vieles gut gelungen. Allerdings wäre es besser, wenn die Aufgabenstellung frei ersichtlich vor den Graphen abgebildet wäre. Wenn man das Applet zum ersten Mal öffnet, muss man sich zunächst einmal zurechtfinden und sich einen Überblick verschaffen. Deshalb wäre es gut, wenn man durch eine abgebildete Aufgabenstellung und Erklärung des Applets zumindest einen Anhaltspunkt zur Orientierung hätte. Dadurch würde sichergestellt werden, dass die meisten Unklarheiten bezüglich der Bedienung und der Aufgabenstellung beseitigt werden.

Das große Ableitungspuzzle

Webadresse: <http://www.mathe-online.at/tests/diff1/ablerkennen.html>

Mathematische Inhalte:

Die mathematischen Inhalte sind eigentlich ident zu denen der Ableitungs-Puzzles. Auch hier sollen die Graphen der Ableitungsfunktionen aufgrund erkennbarer Eigenschaften den Graphen der Funktionen zugeordnet werden. Dieses Mal steht allerdings ein Pool von über 50 verschiedenen Funktionen zur Verfügung, wodurch eine noch größere Bandbreite an verschiedenen Funktionen abgedeckt wird.

Beschreibung der Lernumgebung:

Abbildung 12: Das große Ableitungspuzzle

Das große Ableitungspuzzle ist vom Prinzip her sehr ähnlich zu den zuvor analysierten Ableitungspuzzles. In diesem Fall sind allerdings immer nur jeweils vier Graphen von Funktionen und Ableitungsfunktionen gegeben, die einander richtig zugeordnet werden müssen. Bei jedem neuen Durchlauf werden zufällig vier Funktionen und Ableitungsfunktionen aus über 50 verschiedenen ausgewählt.

Im Gegensatz zu vorhin, werden hier die Aufgabenstellung und die Erklärung zur Funktionsweise des Applets zu Beginn und direkt vor den Funktionsgraphen dargestellt.

Die Funktionsgraphen sind in roter Farbe vor dunkelblauem Hintergrund abgebildet. Zusätzlich sind nun auch die Achsen im Koordinatensystem skaliert.

Wenn man den Graphen einer Ableitungsfunktion einem Funktionsgraphen zuordnet, so erscheint über dem Feld des Funktionsgraphen gleich eine Rückmeldung, ob die Zuordnung richtig oder falsch ist. Da es sich bei der Übung eigentlich um einen kleinen Test handelt, wird hier nicht mehr hingewiesen, warum eine Zuordnung falsch ist. Hat man alles zugeordnet, so kann man sich die erreichten von maximal 10 Punkten anzeigen lassen. Die Auswertung erfolgt dabei nach einem speziellen Punktesystem, das die Anzahl der benötigten Schritte bis zur korrekten Zuordnung aller vier Graphen berücksichtigt.

Die generelle Gestaltung ist sehr schlicht. Es sind keine überflüssigen Elemente abgebildet. Der Text passt sich der Fenstergröße an.

Analyse:

Bei diesem Applet sind viele Aspekte zu einer erfolgreichen Reduzierung des extraneous cognitive load und somit der gesamten kognitiven Beanspruchung umgesetzt:

- Die Erklärung zur Funktionsweise des Applets und die Aufgabenstellung sind zu Beginn dargestellt. Somit sollte sofort klar sein, was verlangt ist und wie die Bedienung funktioniert. Dieser kurze Einleitungstext steht außerdem in unmittelbarer Nähe zu den Funktionsgraphen, womit sie leichter zueinander in Beziehung gestellt werden können. Der Text ist zwar vor dem Applet abgebildet, allerdings ist das in diesem Fall besser, da es ansonsten wahrscheinlicher ist, dass zunächst einmal herumgespielt wird, ohne zu wissen, was eigentlich verlangt ist.
- Die Funktionsgraphen sind durch die rote Farbe vor dem dunkelblauen Hintergrund sehr gut zu erkennen. Dadurch wird das Lösen der Aufgabe nicht unnötig erschwert.
- Durch die skalierten Achsen des Koordinatensystems wird das Vergleichen der Extrem- und Nullstellen der beiden Graphen vereinfacht.

- Auch die Größe der Darstellung ist gut gewählt, denn alle acht Graphen können auf einmal gut überblickt werden.
- Durch die schlichte Gestaltung gibt es keine überflüssigen Elemente, die von der Aufgabenbearbeitung ablenken könnten.

Die Anpassung des Texts an die Fensterbreite ist an und für sich gut, da bei einer kleineren Fenstergröße nicht nach links und rechts gescrollt werden muss. Allerdings ist bei maximierter Fenstergröße der Text auf die gesamte Breite des Bildschirms verteilt, die dargestellten Graphen reichen hingegen nur bis zur Mitte. Dadurch muss beim Blickwechsel zwischen Text und Graphen teilweise eine relativ große Distanz überwunden werden, was die kognitive Beanspruchung doch etwas erhöht. Es wäre deshalb bei maximierter Fenstergröße besser, wenn der Text bündiger und in etwa auf die Breite des Feldes der vier Graphen angepasst wäre.

Dieser kleine Test könnte ebenfalls zu Beginn des Themenblocks Differentialrechnung durchgeführt werden und zum Einüben des Zusammenhangs zwischen Funktion und Ableitungsfunktion verwendet werden. Allerdings ist es wahrscheinlich besser, ihn zu einem späteren Zeitpunkt einzusetzen, da es bei falschen Zuordnungen keine Hinweise wie bei den anderen Ableitungs-Puzzles gibt. Diese Hinweise können besonders für Anfänger, die noch unsicher sind, recht hilfreich sein.

Das große Ableitungspuzzle weist ebenfalls wieder sowohl behavioristische als auch kognitivistische Merkmale auf. Für den Behaviorismus sprechen in diesem Fall die sofortige Rückmeldung, das ständige Wiederholen der gleichen Lösungsschritte und die Bewertung über ein Punktesystem. Eine hohe Punkteanzahl stellt eine Art „Belohnung“ für eine gute Leistung dar.

Allerdings muss der Ableitungsbegriff verstanden worden sein und dieses Wissen muss auf verschiedene Problemfälle angewandt werden. Diese Merkmale sind wiederum eher dem Kognitivismus zuzuordnen.

Fazit:

Durch die schlichte Gestaltung und durch den sinnvollen Einsatzzweck ist auch dieses Applet wieder gut gelungen. Von der kognitiven Beanspruchung her betrachtet, gibt es eigentlich nichts auszusetzen. Lediglich die oben erwähnte Verteilung des Textes über die gesamte Bildschirmbreite ist nicht optimal und könnte noch verbessert werden.

12.3.2 tube.geogebra.org

Unter dieser Webadresse findet man knapp 100.000 freie und interaktive Lernmaterialien (Stand Juli 2014). Die Materialien sind alle mithilfe von GeoGebra erstellt worden und sind Teil der Webseite von GeoGebra. Die Materialien können von jeder Person erstellt und hochgeladen werden.

Es gibt verschiedene Typen von Lernmaterialien. Es wird unterschieden zwischen Arbeitsblättern und „GeoGebraBooks“. In einem „GeoGebraBook“ sind einfach mehrere Arbeitsblätter eines größeren Themenblocks vereint.

Das zur Analyse herangezogene Arbeitsblatt soll den Zusammenhang zwischen Wendepunkt eines Funktionsgraphen und der ersten und zweiten Ableitung erklären. Der Username des Erstellers ist „rutzinger@web.de“, mehr Informationen sind dazu nirgends zu finden.

Differentialrechnung – Wendepunkte – Sachsenringkurve

Webadresse: <http://tube.geogebra.org/student/m8224>

Mathematische Inhalte:

Im Einleitungstext des Arbeitsblatts steht die Intention dieses interaktiven Lernmaterials wie folgt beschrieben:

„Mit diesem interaktiven Arbeitsblatt kannst du mittels Durchfahren der Sachsenring-S-Kurve erarbeiten, wie man Wendepunkte mit Hilfe der Differentialrechnung erklären kann. Eine Funktion $f(x)$ beschreibt die S-Kurve. Die zu der Funktion $f(x)$ zugehörigen Ableitungsfunktionen $f'(x)$, $f''(x)$ und $f'''(x)$ werden als Graphen ebenfalls dargestellt. Die Zusammenhänge zwischen $f(x)$, $f'(x)$, $f''(x)$ und $f'''(x)$ werden dir sichtbar gemacht.“ ([geotube])

Es soll also erarbeitet werden, wie die Wendestellen eines Funktionsgraphen mit den Nullstellen der zweiten Ableitungsfunktion in Verbindung stehen.

Beschreibung der Lernumgebung:

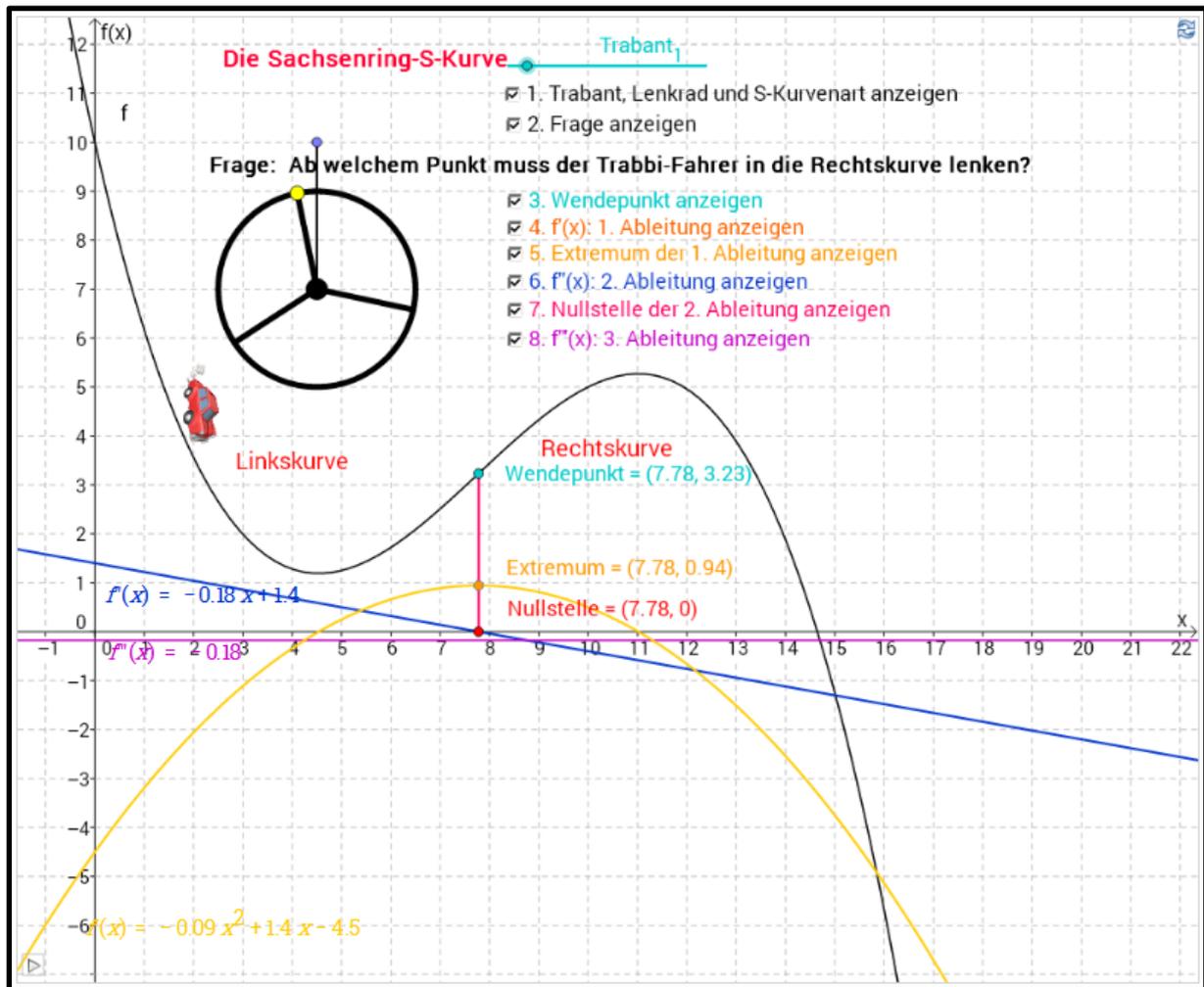


Abbildung 13: GeoGebra-Applet

Das interaktive Arbeitsblatt beginnt mit dem oben zitierten Einleitungstext. Es folgt das Applet, mit dem gearbeitet werden soll. Das Applet ist sehr groß dargestellt, es passt nicht einmal auf den gesamten Bildschirm. Im Applet ist ein kleines rotes Auto zu sehen, das sich auf einem Funktionsgraphen einer Polynomfunktion dritter Ordnung entlang bewegt. Dazu bewegt sich automatisch ein Schieberegler von links nach rechts. Unter dem Schieberegler sind acht Check-Boxen sichtbar, die alle angehakt sind außer der letzten. Der Text neben den Check-Boxen ist in unterschiedlichen Farben gestaltet. Links davon ist ein schwarzer Kreis dargestellt, der ein Lenkrad symbolisieren soll. Unterhalb des Funktionsgraphen sind die Graphen der ersten beiden Ableitungsfunktionen bunt eingezeichnet. Neben diesen beiden Graphen wird auch deren Funktionsgleichung dargestellt. Im linken unteren Eck des Applets ist ganz klein ein Pause-Knopf zum Anhalten des animierten Applets

untergebracht. Unterhalb des Applets wird nun der Arbeitsauftrag dargestellt. Dieser ist in neun Schritte unterteilt.

Arbeitsauftrag:

1. Bewege den (aquarierblauen) Schieberegler und bewege somit das Autosymbol entlang der S-Kurve $f(x)$.
2. Besser aber, du fährst mit einem richtigen Auto, dem Trabbi. Lasse Dir den Trabbi und das Lenkrad dazu anzeigen.
3. Blende Dir dann die Frage ein und versuche vor dem Experiment diese Frage zu beantworten.
4. Lasse Dir jetzt den Wendepunkt anzeigen. Hast Du die Frage richtig beantwortet? Durchfahre nochmals die S-Kurve und achte genau auf die Stellung des Lenkrads. Wann lenkt das Lenkrad nach rechts, wann nach links? Was passiert am Wendepunkt?
5. Schalte die 1. Ableitung hinzu. Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Extremum der 1. Ableitung $f'(x)$ und dem Wendepunkt der Funktion $f(x)$?
6. Schalte das Extremum der 1. Ableitung ein.
7. Schalte jetzt die 2. Ableitung hinzu. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Nullstelle der 2. Ableitung $f''(x)$ und dem Wendepunkt der Funktion $f(x)$?
8. Blende jetzt die 3. Ableitung ein. Welches Vorzeichen hat diese? Welchen Schwenk macht das Lenkrad am Wendepunkt?
9. Links unten findest du ein Play-Symbol. Klicke darauf, dann startet die Animation. Mit dem Pause-Symbol kann die Animation angehalten werden. Mit dem Symbol rechts oben wird das Arbeitsblatt in den Ausgangszustand zurück gesetzt.
10. Fazit
 - a) An einem Wendepunkt ändert der Graph einer Funktion sein Krümmungsverhalten. Ein Graph wechselt hier entweder von einer Rechts- in eine Linkskurve oder umgekehrt. Dieser Wechsel wird auch Bogenwechsel genannt.
 - b) Ein Wendepunkt der Funktion $f(x)$ und das Extremum 1. Ableitung $f'(x)$ dieser Funktion ist bzgl. seines Abszissenwertes (der Wendestelle x_w) identisch. Da für ein Extremum gilt, dass die 1. Ableitung (Steigung) gleich Null sein muss, folgt, $f'(x_w) = f''(x_w) = 0$.
 - c) Ein Wendepunkt der Funktion $f(x)$ und die Nullstelle der 2. Ableitung $f''(x)$ dieser Funktion ist bzgl. seines Abszissenwertes (der Wendestelle x_w) identisch.
 - d) Damit ließe sich die Wendestelle x_w eines Wendepunktes bestimmen, indem die 2. Ableitung der Funktion gleich Null gesetzt wird und die Gleichung nach x_w aufgelöst wird.
Also: $f''(x_w) = 0$ setzen und nach x_w auflösen.
 - e) Im vorliegenden Fall schwenkt das Lenkrad am Wendepunkt von links nach rechts, es liegt also eine Links-Rechts-Wendestelle vor.
 - f) An der Nullstelle der 2. Ableitung ändert sich das Vorzeichen, hier im Beispiel vom Positiven zum Negativen. Das lässt die Vermutung zu, dass beim VZW vom Positiven zum Negativen eine Links-Rechts-Wendestelle und beim VZW vom Negativen zum Positiven eine Rechts-Links-Wendestelle vorliegt.
 - g) Ein VZW vom Positiven zum Negativen bei der 2. Ableitung hat an der Stelle x_w (Nullstelle der 2. Ableitung) zur Folge, dass die Steigung der 2. Ableitung negativ ist. Die Steigung der 2. Ableitung ist jedoch die 3. Ableitung. Das lässt den Schluss zu, dass es sich bei den Wendepunkten um einen Links-Rechts-Wendepunkt handelt, wenn die 3. Ableitung an der Wendestelle x_w negativ ist und um einen Rechts-Links-Wendepunkt, wenn die 3. Ableitung an der Wendestelle x_w positiv ist.

Abbildung 14: Arbeitsauftrag und Fazit

Als Abschluss folgt ein in sieben Teile aufgeteiltes Fazit, indem noch einmal wiederholt und zusammengefasst wird, was aus diesem Arbeitsblatt gelernt werden soll.

Analyse:

Bei diesem interaktiven Arbeitsblatt gibt es vieles, das aus Sicht der behandelten Theorien verbessert werden müsste. Aber zunächst einmal die guten Aspekte:

- Der Text neben den Check-Boxen ist in der gleichen Farbe dargestellt wie die Elemente im Applet, die über die Check-Boxen aktiviert werden. Dadurch wird die Kohärenzbildung zwischen dem Text und den Elementen erleichtert.
 - Der Arbeitsauftrag ist in kleine Schritte unterteilt. So nähert man sich stückweise dem erwünschten Ergebnis.
 - Das Applet ist vor dem Arbeitsauftrag eingefügt.
-

- Verwirrend ist, dass bereits zu Beginn sieben von acht Check-Boxen angehakt sind, obwohl dies laut dem Arbeitsauftrag erst Schritt für Schritt geschehen sollte. Das hat zur Folge, dass für eine erfolgreiche Bearbeitung zunächst alle Häkchen von unten nach oben entfernt werden müssen. Diese Reihenfolge beim Entfernen der Häkchen muss strikt eingehalten werden, da beim Entfernen eines Häkchens die nachfolgende Check-Box immer verschwindet. Anders würde dieses Element nicht ausgeblendet werden können.
- Das Applet ist viel zu groß ausgelegt. Es passt von der Höhe nicht einmal auf den gesamten Bildschirm. Unterhalb des Applets folgt erst der Arbeitsauftrag. Man ist also ständig gezwungen, zwischen Arbeitsauftrag und Applet hinauf und hinunter zu scrollen. Dadurch erhöht sich die sachfremde kognitive Beanspruchung deutlich.
- Die Pause-Taste zum Anhalten der Animation des Applets ist sehr klein und in einer fast transparenten Farbe gestaltet. Die schlecht gewählte Position im linken unteren Eck trägt ebenfalls dazu bei, dass diese Taste nur schwer gefunden werden kann.
- Die Gleichungen der drei Ableitungsfunktionen sind schlecht lesbar. Die Gleichung der ersten Ableitungsfunktion hebt sich aufgrund der hellorangenen Farbe zu wenig von den Gitternetzlinien des Koordinatensystems ab. Die der zweiten Ableitungsfunktion verläuft quer durch den Graphen dieser Funktion. Die Gleichung der dritten Ableitungsfunktion ist auf Höhe der Achsenbeschriftung der x-Achse dargestellt. Darüber hinaus stellt sich auch die Frage, warum die Funktionsgleichung des Ausgangsgraphen nicht dargestellt wird.
- Das Applet wirkt generell überladen. Obwohl das Applet eine so große Fläche einnimmt, sind die vielen Elemente allesamt auf engem Raum platziert. Durch die vielen Elemente geht überdies sehr leicht der Überblick verloren.
- Das Lenkrad könnte etwas verwirrend sein und als solches nicht sofort erkannt werden. Es steht zwar bei der Check-Box dabei, dass das Lenkrad

eingebledet wird, aber vor allem der vertikale Strich zum Mittelpunkt des Lenkrads kann verwirrend sein. Damit soll die Position für die gerade Stellung des Lenkrads markiert werden. Allerdings verwirrt dieser Strich eher, als dass er hilft. Hier wäre es besser, wenn der Strich nur bis zur Bogenlinie des Kreises gehen würde und nicht bis in den Mittelpunkt.

- Das Fazit zum Schluss hebt sich kein bisschen vom Arbeitsauftrag ab. Man muss genau schauen, damit man überhaupt entdeckt, dass es sich um ein Fazit handelt. Hier wäre es dringend notwendig, das Fazit vom Arbeitsauftrag durch einen Rahmen oder zumindest einen mehrzeiligen Abstand nach dem Arbeitsauftrag abzugrenzen. Des Weiteren erstreckt sich der Text über die gesamte Bildschirmbreite. Dadurch wird es notwendig, eine große Fläche zu überblicken und darunter leidet die Übersichtlichkeit. Es werden keine wichtigen Begriffe hervorgehoben. Sie gehen im Fließtext unter und man muss jedes Mal alles durchlesen, um die wichtigen Elemente herauszufinden. Im Fazit werden Abkürzungen und eventuell unbekannte Begriffe benutzt, deren Bedeutung nirgendwo erklärt wird. So z.B. wird immer VZW geschrieben, aber nirgends erklärt, dass damit Vorzeichenwechsel gemeint ist. Dadurch wird der Lernprozess für die Schülerinnen und Schüler unnötig erschwert.

Das Arbeitsblatt kann eher dem Kognitivismus zugeordnet werden. Die Lernenden werden durch Instruktionen zu einem entdeckenden Lernen angeleitet. Sie sollen zunächst selbst die Zusammenhänge mithilfe des Applets herausfinden. Im Anschluss werden allerdings im Fazit die Erkenntnisse aus dem Applet aufgelistet, weswegen das Arbeitsblatt nicht dem Konstruktivismus zugeordnet werden soll. Gegen eine Zuordnung zur konstruktivistischen Lerntheorie spricht auch die fehlende soziale Komponente im Arbeitsblatt.

Fazit:

Dieses interaktive Arbeitsblatt ist nicht gut gestaltet. Die Intention, den Zusammenhang zwischen Wendestellen und der zweiten Ableitung anhand einer Kurve des Sachsenrings zu veranschaulichen, ist eine gute. Die Umsetzung ist jedoch nicht gut gelungen. Das Applet müsste kleiner ausgelegt werden und die enthaltenen Elemente anders platziert werden, damit es nicht mehr so überfüllt wirkt. Die Check-Boxen dürfen nicht von vornherein angehakt sein. Der Arbeitsauftrag sollte am besten neben dem Applet platziert werden, da so sowohl die Anweisungen als auch das Applet gleichzeitig betrachtet werden können. Das Fazit kann dann darunter geschrieben werden, wobei dort die wichtigen Begriffe in irgendeiner Weise hervorgehoben werden sollten. Dann würden sie gleich ins Auge springen, ohne den gesamten Text durchlesen zu müssen.

12.3.3 www.matheprisma.de

MathePrisma ist ein interaktives Multimedia-Projekt der Arbeitsgruppen Didaktik und Angewandte Informatik des Fachbereichs C/Mathematik der Bergischen Universität Wuppertal. Das Projekt läuft seit 2001 und es wird eine Modulsammlung zu Themen aus Mathematik und Informatik angeboten, die ständig vergrößert wird. Die Module haben immer ein konkretes mathematisches Problem als Ausgangspunkt. Anhand dieses Problems werden dann mathematische Methoden zur Lösung vorgestellt und angewendet.

Das Projekt ist vor allem für Schülerinnen und Schüler der Oberstufe ausgelegt. Als Ziel dieses Projekts geben die Entwickler an, die Schülerinnen und Schülern die Faszination und Nützlichkeit der Mathematik entdecken zu lassen. Durch interaktive Elemente und graphische Darstellungen sollen sie sich spielerisch mit den Problemstellungen und Lösungswegen vertraut machen. Die konkreten Zielsetzungen des Projekts sind folgende:

- Erfahren und Begreifen von Mathematik
- Probleme lösen
- Entwicklung von Lösungsstrategien
- problemorientierte mathematische Aufbereitung und Begriffsbildung
- unabhängig von Lehrplänen
- unterhaltsame Blicke über den mathematischen Tellerrand
- freie Verfügbarkeit

Das zur Analyse herangezogene Modul beschäftigt sich mit dem Thema Ableitung.

Ableitung – So wird man zum Blitz-Ableiter von Funktionen

Webadresse: <http://www.matheprisma.de/Module/Ableitung/index.htm>

Mathematische Inhalte:

Das Modul wurde im Oktober 2001 von Gerrit Klein geschrieben. Das Ziel des Moduls wird folgendermaßen beschrieben:

„An zwei Beispielen – einem Kreis und einer Kurve – werden zunächst Tangenten motiviert. Der Übergang von Sekanten zu Tangenten wird geometrisch veranschaulicht.

Entsprechend wird vom Differenzenquotienten zur Ableitung an einer Stelle und schließlich zur Ableitungsfunktion übergeleitet. Zum Schluss werden die Ableitungen von verschiedenen Funktionen vorgestellt.“ ([mp])

Das Modul behandelt also die wichtigsten Grundvorstellungen zur Differentialrechnung. Der Zugang zum Themengebiet erfolgt nicht wie üblich über die Momentangeschwindigkeit, sondern über die Momentanrichtung. Danach wird der Übergang von der Sekanten- zur Tangentensteigung thematisiert. In weiterer Folge wird auch der Begriff der „Differenzenquotientenfunktion“ definiert, welcher in den österreichischen Schulbüchern keine Berücksichtigung mehr findet. Es werden im Anschluss Begriffe wie Ableitung und Differenzierbarkeit einer Funktion behandelt. Den Abschluss bilden die Ableitungsregeln.

Gliederung und Übersicht über das Modul:

Das Modul ist auf zehn Seiten aufgeteilt. Die ersten drei Seiten werden dazu verwendet, mit Hilfe eines Quiz und anhand von zwei realen Sportbeispielen das Thema zu motivieren. Im ersten Beispiel geht es um die Flugbahn des Hammers beim Hammerwerfen, im zweiten geht es um die Rollrichtung einer während eines Slalomrennens auf Inline-Skates verloren gegangenen Kugel des Rollenlagers des Skaters. Anhand dieser Beispiele wird auf den Begriff der Momentanrichtung hingearbeitet. Es wird hier also nicht wie in den meisten Schulbüchern mit der Momentangeschwindigkeit gearbeitet.

Von der Momentanrichtung ausgehend wird auf Sekanten- und Tangentensteigung übergegangen. Im darauffolgenden Teil des Moduls wird der Differenzenquotient eingeführt. In weiterer Folge wird auf die Differenzierbarkeit an einer Stelle und schließlich auf die Ableitungsfunktion übergeleitet. Die letzten beiden Seiten des Moduls sind den Ableitungsregeln gewidmet.

Für die folgende Analyse wird nicht das gesamte Modul herangezogen. Das Augenmerk liegt auf den mittleren Teilen, den Seiten 4-8 des Moduls. Darin wird von der Momentanrichtung ausgehend auf Sekanten- und Tangentensteigung übergeleitet. Darauf aufbauend werden die Begriffe Differenzenquotient, Ableitung und Ableitungsfunktion eingeführt.

Beschreibung der Lernumgebung:

Auf Seite 4 des Moduls geht es darum, wie die Momentanrichtung des Skaters im Slalom-Parcours bestimmt werden kann.

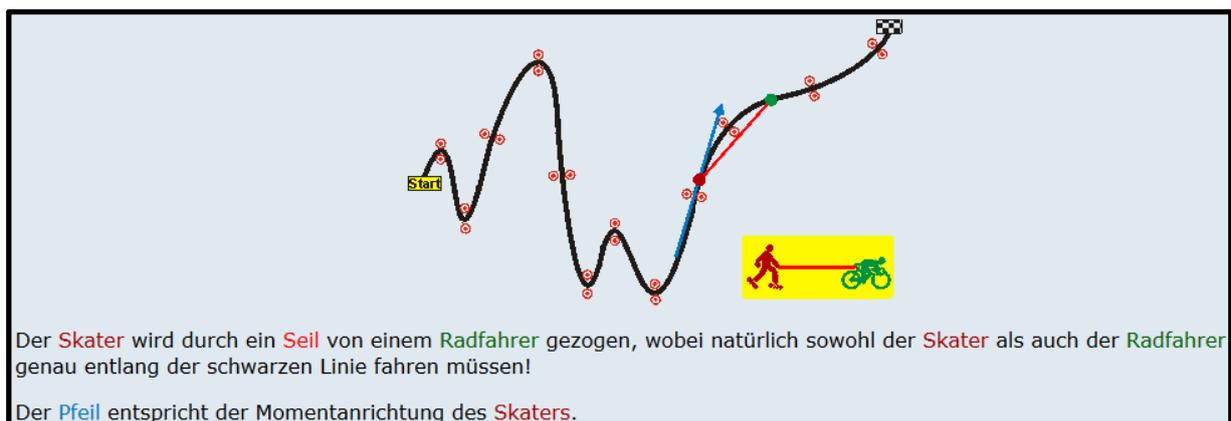


Abbildung 15: Bestimmung der Momentanrichtung des Skaters

Es wird dabei der „Trick“ verwendet, dass der Skater nun von einem Radfahrer an einem Seil gezogen wird. Dies wird grafisch mit einem einfach gehaltenen Bild veranschaulicht.

Als nächstes ist eine spielerische Aufgabe gestellt, bei der in einem Applet die Länge des Seils zu variieren ist und danach der Skater und der Radfahrer durch den Parcours zu ziehen sind. Das Ganze geschieht über zwei Schieberegler, deren Wirkung erklärt wird.

Im Anschluss müssen aus sechs möglichen Aussagen die richtigen ausgewählt werden, um zu beantworten, was im Applet beobachtet werden kann. Durch einen Klick auf das Feld „Kontrolle“ erscheint bei richtig gewählten Antworten ein grünes Häkchen, bei falsch gewählten ein rotes „X“.

Auf Seite 5 wird nun das reale Modell von Skater und Radfahrer in einem Slalom-Parcours in ein mathematisches Modell übersetzt. Ausgehend von der ursprünglichen Abbildung des Parcours können die Lernenden das Modell nun selbst über vier Schaltflächen umändern. Dabei soll auch gleichzeitig das richtige Fachvokabular erlernt bzw. wiederholt werden.

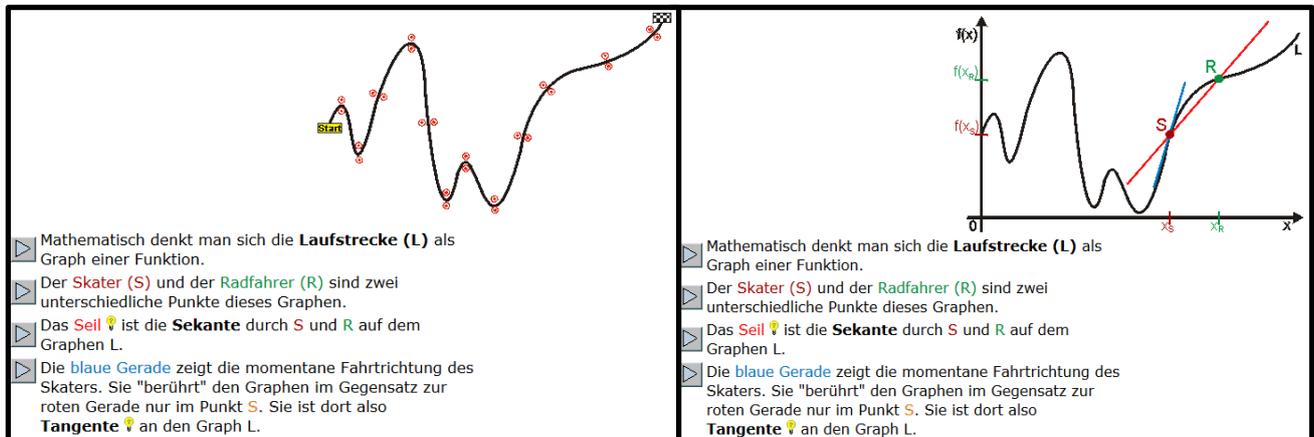


Abbildung 16: Übersetzung in ein mathematisches Modell

Die Strecke wird zum Graph einer Funktion, Skater und Radfahrer werden zu Punkten S und R und das Seil wird zur Sekante zwischen den beiden Punkten geändert. Für die Momentanrichtung wird eine blaue Gerade hinzugefügt, die nun die Tangente darstellt.

Im nächsten Applet sollen die Lernenden entdecken, dass sich die Sekante der Tangente annähert, je geringer der Abstand zwischen den beiden Punkten gewählt wird. Die Seite endet mit der Vorschau, dass aus der Sekantensteigung die Tangentensteigung berechnet werden kann.

Seite 6 beginnt zuerst mit einer Wiederholung zur Bestimmung der Steigung einer Geraden. Dabei werden drei Aufgaben gestellt. Aufgabe 1 ist in drei Teilschritte unterteilt. Zunächst müssen die Koordinaten zweier Punkte einer Gerade aus einem Koordinatensystem ausgelesen und in Kästchen eingetragen werden. Im zweiten Schritt müssen die Differenzen der beiden x-Werte und der beiden y-Werte zur Berechnung der horizontalen und vertikalen Abstände angegeben werden. Im dritten Schritt muss schließlich die richtige Steigung ausgewählt werden. Bei allen drei Schritten ist direkt im Anschluss wieder ein Kontroll-Button, der beim Anklicken entweder ein grünes Häkchen oder rotes „X“ erscheinen lässt, je nachdem, ob die

Aufgabe richtig oder falsch bearbeitet worden ist. Außerdem ändert sich bei jedem Schritt die Abbildung des Graphen. Zuerst werden die zu den Achsen parallelen Hilfslinien zum Ablesen der Werte eingezeichnet. Beim zweiten Schritt wird das Steigungsdreieck mit den Längen der Katheten eingezeichnet. Im dritten Schritt wird die Formel des Differenzenquotienten zur Berechnung der Steigung eingeblendet. Da das Koordinatensystem sehr klein gewählt wurde, ist es allerdings schwierig, die Formel abzulesen. Auch wenn man die Darstellung im Browser vergrößert, wird das Ablesen nicht leichter, da die Auflösung der Abbildung zu schlecht ist.

In Aufgabe 2 muss einem Funktionsterm der richtige Graph zugeordnet werden.

In Aufgabe 3 muss genau umgekehrt einem Graphen der richtige Funktionsterm zugeordnet werden. Auch bei diesen beiden Aufgaben erfolgt die unmittelbare Kontrolle mit dem Kontroll-Button.

Bevor als nächstes die Differenzenquotientenfunktion definiert wird, ist wieder eine anschauliche Abbildung zur Steigung einer beliebigen Funktion zwischen zwei Punkten eingefügt. Diesmal ist sie groß genug dargestellt, damit die Beschriftungen leicht gelesen werden können. Die Definition des Begriffs ist farblich hinterlegt.

Definition
Differenzenquotientenfunktion Man bezeichnet die Funktion $a_{x_0}(x) = \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}$ der Funktion f an der Stelle x_0 als **Differenzenquotientenfunktion**.
 Hat die Funktion f die Definitionsmenge $D(f)$, so hat die Funktion a_{x_0} die Definitionsmenge $D(f) \setminus \{x_0\}$.

geometrische Bedeutung:
Sekantensteigung Steigung der Sekante durch den Graph der Funktion f an den Stellen x_0 und x .

Beispiel bzw. Aufgabe:
 Gegeben sei die Funktion f mit $f(x) = x^2$.
 Gesucht sind Steigungen der jeweiligen Sekanten durch $x_0 = 1$.

Berechne die Steigungen der jeweiligen Sekanten mit Hilfe der Differenzenquotientenfunktion

$$a_1(x) = \frac{f(x) - f(1)}{x - 1} = \frac{x^2 - 1}{x - 1}$$

x	-1	0	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	3
$a_1(x)$	<input type="text"/>								
	Bild								

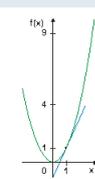


Abbildung 17: Definition und Übungsaufgabe

Im Anschluss an die Definition wird eine Aufgabe zum Üben des eben Erlernten angeboten. Mit Hilfe der Differenzenquotientenfunktion soll die Steigung der Sekanten durch den Punkt (1|1) und verschiedenen anderen Punkten der Funktion f mit $f(x) = x^2$ berechnet werden.

Auf Seite 7 des Moduls wird nun von der Sekantensteigung zur Tangentensteigung übergegangen. Dazu wird mit einem Applet begonnen, mit dem beobachtet werden

kann, wie sich die Sekantensteigung der Tangentensteigung nähert, wenn sich der bewegliche grüne Punkt dem roten Punkt (1|1) nähert.

Nach diesem Applet folgt die Definition der Ableitung einer Funktion f an der Stelle x_0 . Wie schon zuvor ist auch diese Definition farblich hinterlegt und grenzt sich so vom restlichen Inhalt ab. Die wichtigen Begriffe sind rot hervorgehoben.

Nach der Definition wird die geometrische Bedeutung der Ableitung erwähnt.

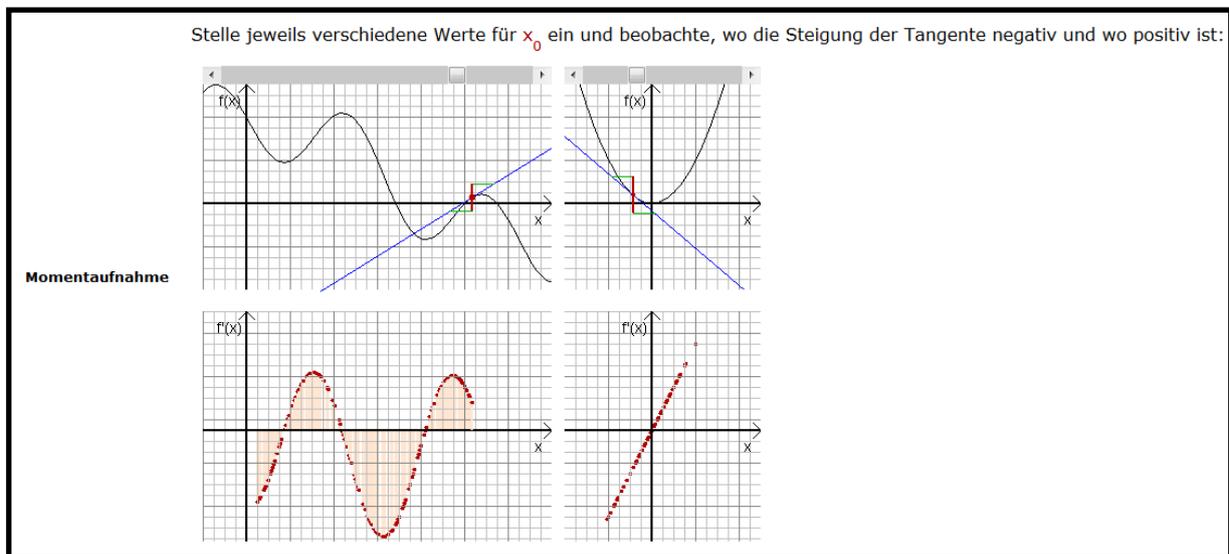


Abbildung 18: Veränderung der Steigung der Tangente

Danach sollen die Lernenden wieder selbst mithilfe eines Applets beobachten, wie sich die Steigung der Tangente entlang des Funktionsgraphen verändert.

Zum Schluss dieser Seite wird noch auf Voraussetzungen hingewiesen, die für die Existenz des Differentialquotienten notwendig sind. Allerdings werden die Lernenden nicht „gezwungen“ sich damit zu beschäftigen, denn die Informationen erscheinen erst durch Anklicken eines Links.

Auf der letzten der analysierten Seiten erfolgen nun die Definitionen der Differenzierbarkeit einer Funktion sowie der Ableitungsfunktion f' . Wie vorhin werden die wichtigen Begriffe wieder farblich hervorgehoben und die Definition ist farblich hinterlegt. Zum Abschluss kann noch in einem Applet die Steigung der Tangente an eine Funktion mit der Ableitungsfunktion verglichen werden.

Analyse:

Der Autor hat bei diesem Modul vieles gut umgesetzt, um die kognitive Beanspruchung gering zu halten und den Lernprozess zu unterstützen.

- Die Grafik auf Seite 4 wurde vor dem dazugehörigen Text eingefügt.
- Die Grafik ist auf das Wesentliche reduziert, Skater und Radfahrer sind als Strichmännchen gezeichnet (man könnte sogar noch die Begrenzungshütchen des Parcours weglassen, um die Grafik noch weiter zu vereinfachen).
- Die Applets sind alle in der richtigen Größe dargestellt, damit sowohl die Applets als auch die zugehörigen Arbeitsaufträge bzw. zu beantwortenden Fragen gleichzeitig am Bildschirm betrachtet werden können.
- Bei sämtlichen Grafiken und Applets wird versucht, die Kohärenzbildung zwischen Text und Grafik bzw. Applet zu erleichtern. Dies geschieht dadurch, dass die dargestellten Objekte im Text mit denselben Farben hervorgehoben sind, mit denen sie in der Grafik bzw. im Applet auftreten. Beim zweiten Applet auf Seite 5 ist allerdings ein Fehler passiert. Die Sekante wird im Applet grün dargestellt, der Begriff ist aber rot geschrieben.
- Auf Seite 5 werden bei der Übersetzung des realen Modells in ein mathematisches die wichtigen Begriffe „Sekante“ und „Tangente“ fett gedruckt hervorgehoben.
- Die drei Aufgaben zur Wiederholung auf Seite 6 haben eine wichtige Funktion: Durch sie wird bereits bekanntes Wissen aktiviert und wieder ins Gedächtnis gerufen. Auf diese Weise wird die kognitive Beanspruchung kleiner, da der nächste Schritt, nämlich die Bestimmung der Steigung einer beliebigen Funktion zwischen zwei Stellen, mit einem bereits bekannten Schema in Verbindung gebracht werden kann.

- Bei der Aufgabe am Ende von Seite 6 wird ein Vorteil des multimedialen Lernens sehr gut genutzt: Der Graph der Funktion ist neben der Angabe in der Aufgabe integriert und durch Klicken auf verschiedene Schaltflächen werden die jeweiligen Sekanten eingezeichnet. Auf diese Weise können die Lernenden ein Bild der Sekanten betrachten, für die sie jeweils die Steigung berechnen sollen. Diese bildliche Darstellung erleichtert den Lernprozess.
- Der Hintergrund ist auf allen Seiten sehr schlicht und einheitlich blau-gräulich gehalten. Jedes Applet ist vor einem weißen Hintergrund dargestellt. Durch diesen veränderten Hintergrund stechen die Applets hervor und es ist klar gekennzeichnet, welche Teile zum Applet gehören.
- Ebenso bringt die farbliche Hinterlegung der Definitionen eine klare Struktur in die Darstellung der Inhalte. Dadurch werden sie gut von den restlichen Inhalten abgetrennt. Es wird dem Lernenden erleichtert, zu erkennen, welche Teile zu den Definitionen gehören. Wären die Definitionen im Fließtext und ohne erkennbare Abgrenzung eingebettet, so wäre die sachfremde kognitive Beanspruchung höher, da der Lernende erst die wichtigen Teile für die Definition finden müsste.
- In den Definitionen sind die wichtigen Begriffe mit roter Farbe hervorgehoben. Dies erleichtert den Lernprozess, da die wichtigen Aspekte der Definition leichter erkannt werden können.
- Der Link zu den Existenzvoraussetzungen des Differentialquotienten auf Seite 7 stellt eine gute Differenzierungsmöglichkeit dar. Interessierte können sich vertiefender mit dem Thema beschäftigen, wohingegen weniger interessierte Lernende mit der nächsten Seite fortfahren können. Es ist vor allem gut, dass diese Zusatzinformationen erst über einen Link angezeigt werden. Dadurch müssen diese Inhalte von den weniger Interessierten nicht aktiv ausgeblendet werden und die sachfremde kognitive Beanspruchung wird geringer gehalten.
- Die Erklärungen und Applets nehmen nicht die gesamte Bildschirmbreite ein. Das Modul wirkt dadurch kompakt und übersichtlich.

- Durch die permanent eingeblendete Navigationsleiste am unteren Bildschirmrand kann zwischen den Seiten des Moduls beliebig gewechselt werden. Dies ist vor allem hilfreich, wenn man auf vorangegangenen Seiten etwas noch einmal betrachten möchte.
-

- Bei Aufgabe 1 der drei Wiederholungsaufgaben auf Seite 6 wird das Koordinatensystem zu klein dargestellt. Es wird für die Augen sehr anstrengend, die richtigen Werte daraus abzulesen. Außerdem können die nach jedem Schritt eingeblendeten Beschriftungen kaum entziffert werden. Hier wäre es deshalb notwendig, das Koordinatensystem ein Stück weit zu vergrößern, um das Ablesen der Werte und Beschriftungen zu vereinfachen.
 - Das erste Applet auf Seite 7 könnte ebenfalls verbessert werden. Es ist nicht ganz leicht zu erkennen, dass im zweiten Graphen des Applets die Sekantensteigung abgebildet wird. Eine weitere Herausforderung könnte sein, diese mit dem ersten Graphen in Verbindung zu setzen. Hier würde es hilfreich sein, eine etwas umfangreichere Erklärung zum Applet hinzuzufügen. Damit könnte genauer beschrieben werden, wie die beiden Graphen zueinander in Beziehung stehen.
-

Das Modul kann nicht einer einzigen Lerntheorie zugeordnet werden. Die Reihenfolge ist strikt vorgegeben und es gibt keine individuell angepasste Lernumgebung. Außerdem gibt es immer wieder kurze Aufgaben mit sofortiger Kontrolle, was typisch für behavioristische Lernumgebungen ist. Teilweise wird bereits bekanntes Vorwissen wiederholt und reaktiviert, bevor etwas Neues eingeführt wird. Das, sowie das angeleitete aktiv-entdeckende Lernen mithilfe der Applets, können wiederum eher dem Kognitivismus und dem Konstruktivismus zugeordnet werden.

Zum Schluss hin können die Lernenden die strikte Anordnung verlassen und selbst auswählen, ob sie die Voraussetzungen für die Existenz des Differentialquotienten und die Beweise für die Ableitungsregeln durcharbeiten möchten oder nicht. Dieses Element der Selbststeuerung ist ebenfalls nicht mit dem Behaviorismus vereinbar, sondern auf die beiden anderen Lerntheorien zutreffend.

Analyse der mathematischen Inhalte:

Wie oben bereits erwähnt, behandelt das Modul Grundlegendes zur Differentialrechnung. Die Definitionen sind allerdings nicht vollkommen exakt formuliert. So z.B. wird in den Definitionen von Differenzenquotient und Ableitung immer nur von Funktionen gesprochen und nicht von reellen Funktionen. Das sind allerdings kleine Details, die keine großen Auswirkungen haben sollten.

Interessant ist, dass nirgends der Begriff Differentialquotient fällt. Es wird immer nur von der Ableitung oder dem Grenzwert der Differenzenquotientenfunktion gesprochen. Da der Begriff des Differentialquotienten ein sehr zentraler ist, sollte dieser sehr wohl berücksichtigt werden.

Der Zugang erfolgt nicht wie üblich über die Momentangeschwindigkeit sondern über die Momentanrichtung. Laut Lehrplan für Mathematik der AHS-Oberstufe ist dagegen auch nichts einzuwenden. Im Lehrstoff zur 7. Klasse steht darin bezüglich Differential- und Differenzenquotienten nur folgendes geschrieben:

„[...] Deuten dieser Begriffe als Sekantensteigung bzw. Tangentensteigung, weiteres Deuten in außermathematischen Bereichen“. ([LP], S. 5)

Im Hinblick auf die standardisierte schriftliche Reifeprüfung sollte der Begriff der Momentangeschwindigkeit im Unterricht allerdings nicht vernachlässigt werden. Im Inhaltsbereich Analysis der inhaltlichen Grundlagen zur standardisierten schriftlichen Reifeprüfung wird der Begriff „Momentangeschwindigkeit“ sogar explizit erwähnt. In den Grundkompetenzen des Inhaltsbereichs Analysis wird vorgegeben, den Differenzen- und Differentialquotienten in verschiedenen Kontexten deuten und entsprechende Sachverhalte durch Differenzen- bzw. Differentialquotienten beschreiben zu können. Deshalb wird es kein Nachteil sein, den Schülerinnen und Schülern beide Begriffe näher zu bringen. (vgl. Aue et al. 2013, S. 13-14)

Ob es notwendig ist, die Differenzenquotientenfunktion zu definieren, muss der Entscheidung der Lehrperson obliegen. Man kann damit argumentieren, dass sie als Vorbereitung für die Ableitungsfunktion gesehen werden kann. Allerdings wird die Differenzenquotientenfunktion später nicht mehr gebraucht, weshalb hier ein zusätzlicher Begriff erlernt wird, der keinen weiteren Verwendungszweck darstellt. Außerdem findet die Differenzenquotientenfunktion auch im Lehrplan keine Berücksichtigung. Deshalb ist es wohl besser, die Unterrichtszeit für andere Inhalte zu nutzen.

Fazit:

Das Modul „Ableitung – So wird man zum Blitz-Ableiter von Funktionen“ ist ein sehr gut gelungenes Lernmaterial. Gestalterisch sind viele Aspekte zur Reduzierung der kognitiven Belastung umgesetzt worden. Häufig wird auch der Vorteil der dualen Kodierung genutzt, indem neben Erklärungen gleichzeitig auch Abbildungen oder Applets dargestellt werden. Die Abbildungen und Applets sind einfach gehalten, weshalb es zu keinen Problemen durch die visuelle und nicht auditive Darbietung des Textes kommen sollte.

Von den mathematischen Inhalten werden die wichtigsten Punkte zur Einführung in die Differentialrechnung abgedeckt. Der Zugang über die Momentanrichtung ist in Österreich ungewöhnlich, aber durchaus zu rechtfertigen. Bei der Differenzenquotientenfunktion ist zu hinterfragen, ob es Sinn hat, diesen Begriff einzuführen.

12.4 Quadratische Funktionen

12.4.1 www.schoett-web.de

Schött-Web ist eine private Homepage von Christian Schött. Es werden Materialien für den Mathematik- und Physikunterricht an Gymnasien zur Verfügung gestellt. Die Seite befindet sich noch im Aufbau, weshalb es noch keine Materialien für die Unterstufe gibt. Bei den Materialien handelt es sich größtenteils um einzelne Applets. Für die folgende Analyse wurde ein Lernpfad zu Quadratischen Funktionen ausgewählt.

Lernpfad: Quadratische Funktionen

Webadresse:

http://www.schoett-web.de/mathematik/quadratische_funktionen/1/index.html

Mathematische Inhalte:

„Auf diesem Lernpfad werden Sie sich mit der Scheitelpunktsform quadratischer Funktionen beschäftigen. Sie werden zunächst die Scheitelpunktsform erforschen, dann das Aufstellen quadratischer Funktionsgleichungen üben und schließlich realistische Probleme mit Hilfe mathematischer Funktionen modellieren.“ ([schoett])

Dieser einleitende Satz auf der Startseite des Lernpfads beschreibt kurz und bündig dessen Inhalte. Anhand von Applets wird die Scheitelpunktsform quadratischer Funktionen schrittweise erarbeitet. Ausgehend von der Normalparabel $y = x^2$ werden die Lernenden zur Scheitelpunktsform $y = a \cdot (x - d)^2 + e$ hingeführt.

Es wird erläutert, wie man die Koordinaten des Scheitelpunkts einer Parabel aus der Scheitelpunktsform ablesen kann. In weiterer Folge soll das Aufstellen quadratischer Funktionsgleichungen in Scheitelpunktsform erlernt werden.

Als Abschluss sollen verschiedene reale Probleme mit Hilfe quadratischer Funktionen modelliert werden.

Für die Bearbeitung des Lernpfads werden Kenntnisse über lineare Funktionen vorausgesetzt.

Gliederung und Übersicht über den Lernpfad:

Der Lernpfad ist in drei Lerneinheiten gegliedert. Die Lerneinheiten bauen aufeinander auf und sollen daher der Reihe nach bearbeitet werden.

Die erste Lerneinheit widmet sich der Stauchung, Streckung und Verschiebung der Normalparabel. Die Auswirkungen der Veränderung der einzelnen Parameter auf den Graphen sind dabei mit Hilfe von Applets selbstständig zu untersuchen.

In der zweiten Lerneinheit soll das Aufstellen quadratischer Funktionsgleichungen in Scheitelpunktsform erlernt werden.

Die dritte Lerneinheit widmet sich dem „Modellbilden“. Realistische Probleme sollen mit Hilfe quadratischer Funktionen modelliert werden. Die Lernenden sollen dabei nach dem „Modellierungskreislauf“² vorgehen.

Das generelle Erscheinungsbild des Lernpfads ist für alle Lerneinheiten gleich gestaltet. Auf der linken Seite befindet sich die Navigationsleiste mit der man von Lerneinheit zu Lerneinheit wechseln kann. Die Darstellung der Inhalte nimmt etwa drei Viertel der gesamten Bildschirmbreite ein, wodurch die Inhalte kompakt und bündig strukturiert wirken.

Für die folgende Analyse wurde Lerneinheit 1 verwendet. Das Ziel dieser Lerneinheit ist die Einführung der Scheitelpunktsform für quadratische Funktionen. Des Weiteren sollen die Auswirkungen der Parameter auf das Erscheinungsbild des Graphen einer quadratischen Funktion verinnerlicht werden.

Beschreibung der Lernumgebung:

Lerneinheit 1 beginnt mit einer kurzen Einleitung über die Normalparabel und wie durch Stauchung und Streckung daraus andere Parabeln resultieren.

² **Modellierungskreislauf:** Eine reale Situation wird durch Abstrahieren, Vereinfachen, Idealisieren etc. in ein reales Modell übergeführt. Das reale Modell wird in die Sprache der Mathematik übersetzt und in ein mathematisches Modell übergeführt. Durch Rechnen und Operieren wird ein mathematisches Resultat erzielt. Dieses Resultat muss überprüft werden, ob es auch sinnvoll ist und anschließend wieder auf die gegebene reale Situation richtig bezogen werden. (vgl. Blum 1985)

Der eigentliche Lernpfad beginnt nun mit einem Applet zur Visualisierung von Stauchung und Streckung einer Parabel bei Veränderung des Parameters a in der Funktionsgleichung $y = a \cdot x^2$.

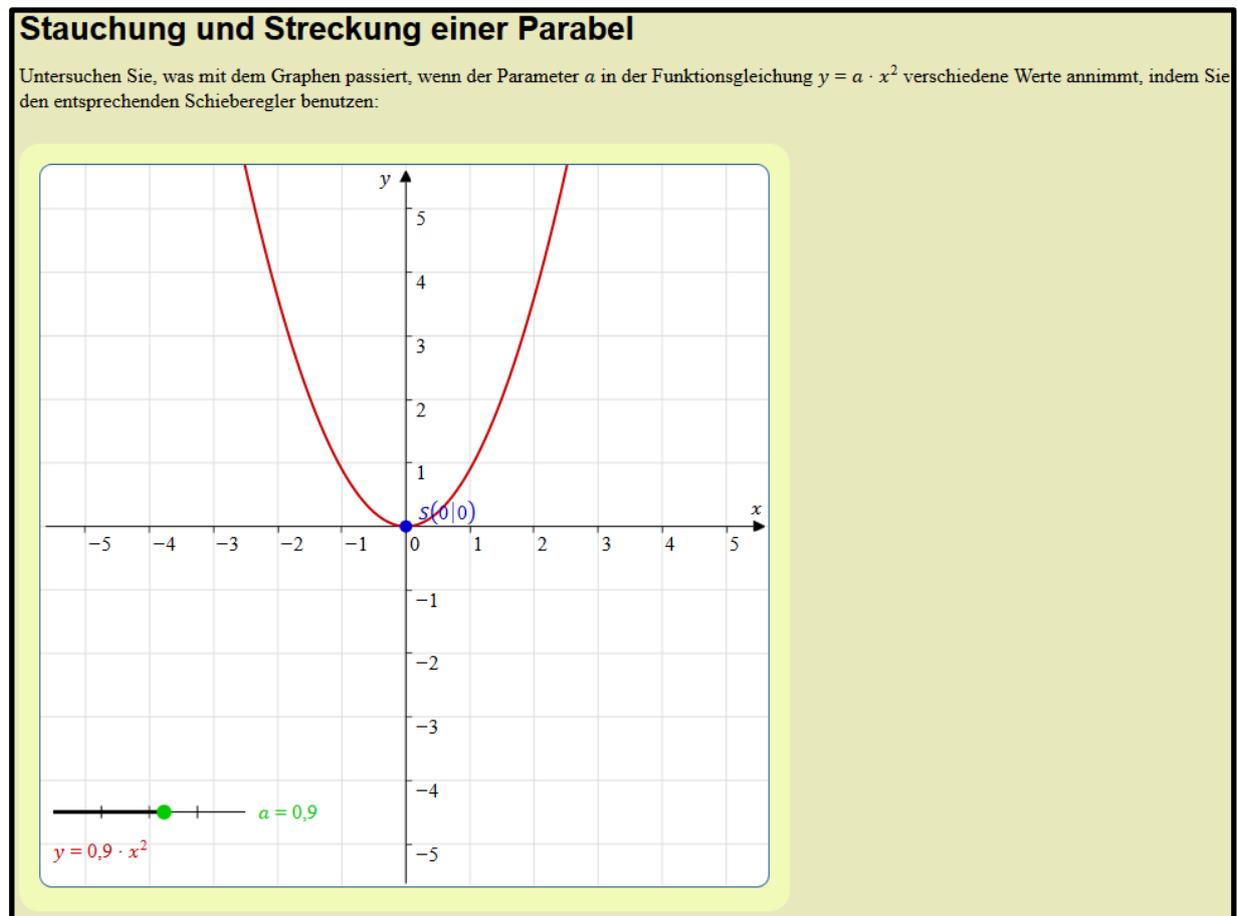


Abbildung 19: Applet zur Visualisierung von Stauchung und Streckung einer Parabel

Der Parameter a kann dabei über einen Schieberegler verändert werden. Der Schieberegler ist, wie alle beweglichen Elemente in den Applets des Lernpfads, grün dargestellt.

Der Graph sowie die Gleichung der Funktion sind in derselben Farbe dargestellt. Nach diesem Überblick über die Veränderung des Graphen bei unterschiedlichen Werten von a , sind nun zwei konkrete Fragen zu beantworten. Die Antworten auf die Fragen sind nicht gleich ersichtlich. Erst durch Klicken auf die Schaltfläche „Mehr Informationen“ erscheint ein Fließtext, in dem die Fragen beantwortet werden. Dieser Text ist farblich eingerahmt. Im Anschluss folgt ein „Heftaufschrieb“. Es sollen die wesentlichen Erkenntnisse über die Streckung und Stauchung von Parabeln ins Heft eingetragen werden.

Es folgen Aufgaben zum Einüben des eben Gelernten. Der Link zu den Aufgaben ist farblich hervorgehoben. In der ersten Aufgabe muss eine gegebene Parabel an der x -Achse gespiegelt werden. Dazu muss nur der Parameter a eingegeben werden. Durch Bestätigung der Eingabe wird der Graph eingezeichnet. Unterhalb des Eingabefelds erscheint zusätzlich eine Rückmeldung, ob die Eingabe richtig oder falsch war. Nach drei Fehlversuchen wird der Lösungsgraph als Orientierungshilfe grau eingezeichnet. Erst wenn die Aufgabe richtig gelöst wird, erscheint ein Link zur nächsten Aufgabe.

Die nächsten vier Aufgaben bestehen darin, den Parameter a so zu bestimmen, dass die Parabel durch einen gegebenen Punkt verläuft. Der Punkt ist dabei sowohl in der Angabe als auch im Applet angegeben. Unterhalb des Eingabefelds wird ein Link zu einer Hilfestellung angeboten. Darin wird beschrieben, wie der Parameter a bestimmt werden kann. Nach der fünften Aufgabe gelangt man zurück zur Lerneinheit.

Im nächsten Punkt geht es nun um die Verschiebung einer Parabel. In einem Applet soll jetzt der Scheitelpunkt verschoben werden. Wie bereits erwähnt, ist der Scheitelpunkt in diesem Fall jetzt grün dargestellt, was ein bewegliches Element signalisiert. Genau wie vorhin werden nach dem ersten Untersuchen der Veränderungen nun drei konkrete Fragen gestellt, die beantwortet werden sollen. Da vor allem die letzte Frage nach einer allgemeinen Funktionsgleichung etwas anspruchsvoller ist, wird zur Beantwortung nun eine Hilfestellung angeboten, in der ein systematisches Vorgehen vorgeschlagen wird. Mithilfe von zwei Applets wird so zuerst untersucht, was sich bei der Funktionsgleichung bei einer vertikalen Verschiebung ändert und im Anschluss daran, was sich bei einer horizontalen Verschiebung ändert.

Danach gelangt man wieder zur Lerneinheit zurück. Bevor es mit Aufgaben weitergeht, sollen zuerst wieder die wesentlichen Erkenntnisse im Heft notiert werden.

Der Link zu den Aufgaben ist wieder farblich hervorgehoben. Erneut gibt es fünf Aufgaben. Dabei muss jeweils der Scheitelpunkt an die richtige Stelle gezogen werden, damit die gegebene Funktionsgleichung erfüllt ist. Die Funktionsgleichung ist dabei aus der Angabe abzulesen.

Analyse:

In dieser Lerneinheit sind aus Sicht der zuvor behandelten Theorien einige Bestandteile gut, einige weniger gut gestaltet worden. Die guten Aspekte folgen zuerst:

- Die Scheitelpunktsform wird schrittweise erarbeitet. Durch diese Aufteilung des Inhalts in kleinere Segmente wird den Lernenden der Lernprozess erleichtert. Es müssen nicht alle neuen Informationen sofort gleichzeitig im Gedächtnis behalten werden, sondern erst mit Fortdauer des Lernpfads. Dadurch kommt es weniger leicht zu einer kognitiven Überlastung.
- Die Applets sind einheitlich gestaltet. Bewegliche Elemente werden stets in grüner Farbe dargestellt. Durch diese einheitliche Gestaltung wird die Übersichtlichkeit erhöht und die Bedienung erleichtert. Es kann schnell eine gewisse Routine für die Bedienung der Applets des Lernpfads entwickelt werden.
Außerdem sind der Graph sowie die Funktionsgleichung in derselben Farbe dargestellt. Dadurch wird signalisiert, dass die beiden zueinander in Beziehung stehen – die Kohärenzbildung wird erleichtert.
- Die Applets sind immer vor den Fragen, die mit Hilfe des Applets beantwortet werden sollen, eingefügt. Diese Reihenfolge ist vor allem für Anfänger besser geeignet.
- Der Text, der bei „Mehr Informationen“ erscheint, ist farblich eingerahmt. Dadurch hebt er sich vom Rest des Lernpfads ab. Das erhöht die Übersichtlichkeit und verringert die kognitive Beanspruchung.
- Durch die Darstellung der Inhalte sowohl in den Applets als auch im Text wird die doppelte Kodierung der Inhalte erleichtert. Dadurch wird der Lernprozess begünstigt.

- Die Links zu den Aufgaben sowie zu der Hilfestellung sind ebenso wie die Aufforderung zum Heftaufschrieb farblich hervorgehoben. Dadurch fallen sie gleich auf und sollten nicht zu übersehen sein.
- Die Aufgaben sind alle auf einzelne Applets aufgeteilt und nicht alle in einem einzigen zu lösen. Auf diese Weise ist die Übersichtlichkeit deutlich besser.
- Das Angebot einer Hilfestellung für die Beantwortung der Fragen zur Verschiebung einer Parabel ist eine sehr gute Maßnahme. In dieser Hilfestellung wird Schritt für Schritt vorgegangen. Der Inhalt wird in einzelne Segmente zerlegt. Dadurch wird den Lernenden genügend Zeit zur Verarbeitung des Inhalts gegeben. Sie können die einzelnen Segmente leichter selektieren, organisieren und integrieren als wenn der gesamte Inhalt im Ganzen zu erfassen wäre. Vor allem bei schlechteren Schülerinnen und Schülern kann so eine Überforderung vermieden werden.
Bei den ersten Aufgaben wird ebenfalls eine Hilfestellung angeboten. Diese stellt wiederum eine gute Unterstützung dar und erleichtert das Lösen der Aufgaben.
- Die Inhalte sind auf das Wesentliche beschränkt und es werden keine überflüssigen Informationen zur Ausschmückung des Inhalts bereitgestellt. Die Darstellung der Inhalte ist kompakt mit genügend Seiteneinzug am rechten Rand. Dadurch wird die Übersichtlichkeit gesteigert und es wird leichter, die gesamten Inhalte zu überblicken.

Es gibt allerdings auch einige weniger gute Aspekte:

- Weder bei den Erklärungen, den Antworten zu den Fragen noch bei den Angaben der Aufgaben werden einzelne Elemente fett oder in einer anderen Weise hervorgehoben. Dies erhöht die kognitive Beanspruchung, da die wichtigen Elemente, wie neue Begriffe, Funktionsgleichungen oder Bezeichnungen für Punkte und Parameter, im Fließtext untergehen. Diese nicht optimal gewählte Form der Darstellung zieht sich durch den gesamten

Lernpfad hindurch. Eine optische Kennzeichnung wichtiger Informationen würde die Lesbarkeit erhöhen und die kognitive Beanspruchung reduzieren. Vor allem beim „Heftaufschrieb“ wäre es von Vorteil, wenn die wichtigen Begriffe hervorgehoben dargestellt werden würden. Manchen Schülerinnen und Schülern fällt es sicherlich nicht so leicht, die wichtigen Dinge zu erkennen, weshalb eine Kennzeichnung eine gute Hilfestellung bieten würde.

- Die Applets sind alle sehr groß dimensioniert. Die Fragen zum Applet sind zwar direkt unterhalb dargestellt, jedoch passen sie bei maximiertem Fenster nur noch knapp auf den Bildschirm. Die Applets sollten deshalb eine Spur kleiner dargestellt werden. Dann könnten auch die entsprechenden Antworten, die alle im Punkt „Mehr Informationen“ zusammengefasst werden, mit dem Applet leichter verglichen werden, ohne hinauf- und hinunterscrollen zu müssen.
- Bei den letzten beiden Aufgaben zur Stauchung und Streckung einer Parabel ist jeweils ein Fehler passiert. In der Angabe wird eine andere y-Koordinate des Punkts angegeben als im eingezeichneten Punkt im Applet. Dies kann sehr leicht zu Verwirrungen führen, welcher Punkt der richtige ist.
- Bei den Aufgaben zur Verschiebung einer Parabel ist die Funktionsgleichung nur aus der Angabe ablesbar. Um die Parabel richtig zu platzieren, muss der Blick meistens mehrere Male zwischen dem Graphen und der Funktionsgleichung gewechselt werden. Da sie nicht in unmittelbarer Nähe zueinander sind, erhöht sich dadurch die kognitive Belastung. Es wäre daher besser, wenn die gesuchte Funktionsgleichung im Applet selbst integriert wäre, um den räumlichen Abstand von Parabel und Funktionsgleichung zu verringern.

Der gesamte Lernpfad weist sowohl behavioristische als auch kognitivistische und konstruktivistische Elemente auf. Dem Behaviorismus ist die lineare Abfolge der Lerninhalte zuzuschreiben. Es wird auch keine Individualisierung aufbauend auf dem Vorwissen der Lernenden durchgeführt. Die Aufgabenblöcke der ersten zwei

Lerneinheiten folgen der Grundstruktur des Modells der *Programmierten Unterweisung*. Erst wenn eine Aufgabe richtig beantwortet worden ist, wird der Link zur nächsten Aufgabe angezeigt. Dieser Link stellt die „Belohnung“ für eine richtige Antwort dar. Die „Bestrafung“ bei einer falschen Antwort liegt in der Wiederholung der gleichen Aufgabe.

Für den Kognitivismus sprechen die Elemente des entdeckenden Lernens. Mit Hilfe der Applets sollen verschiedene Eigenschaften quadratischer Funktionen entdeckt und untersucht werden. Diese Untersuchungen werden allerdings mit Fragen angeleitet. Dadurch ist der Lernprozess nicht völlig selbstgesteuert sondern nach wie vor auch fremdgesteuert. Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen werden auch anschließend zusammengefasst. Deshalb sind diese Elemente des Lernpfads eher dem Kognitivismus als dem Konstruktivismus zuzuordnen.

Dem Konstruktivismus kann vor allem Lerneinheit 3 zugeordnet werden. Diese Einheit beschäftigt sich mit der Anwendung des erlernten Wissens auf Problemstellungen. Nach Kerres bestehen die Prinzipien konstruktivistischer Lernangebote unter anderem im Lernen mit multiplen Kontexten. In den Aufgaben werden verschiedene Anwendungssituationen aufgezeigt und konkrete Probleme zum Lösen angeboten. Daher kann die dritte Lerneinheit dem Konstruktivismus zugeordnet werden.

Analyse der mathematischen Inhalte des gesamten Lernpfads:

Der Lernpfad deckt wesentliche Aspekte der Scheitelpunktsform quadratischer Funktionen ab. Es werden die Bedeutungen und Auswirkungen der einzelnen Parameter auf den Graphen quadratischer Funktionen erarbeitet und eingeübt. Sehr gut ist vor allem, dass in der letzten Lerneinheit auf das „Modellbilden“ eingegangen wird. Die Lernenden können so auf den Nutzen mathematischer Modelle in der realen Welt aufmerksam gemacht werden.

Was leider im gesamten Lernpfad nie erwähnt wird, ist die allgemeine Form für quadratische Funktionen ($y = ax^2 + bx + c$). Diese Form der Funktionsgleichung ist vor allem für spätere Jahrgangsstufen doch von größerer Bedeutung als die Scheitelpunktsform. Sie sollte deshalb unbedingt im Unterricht noch behandelt werden!

Fazit:

Von den mathematischen Inhalten her betrachtet, gibt es bis auf die fehlende allgemeine Form der quadratischen Funktionsgleichung nichts auszusetzen. Die dargebotenen Inhalte zur Scheitelpunktsform sind mathematisch gut aufbereitet. Schritt für Schritt wird die Formel erarbeitet und es wird ein Anwendungsbezug geboten.

Die Gestaltung der Webseite ist aus Sicht der vorgestellten Theorien nur zum Teil optimal gelungen. Vieles wurde für einen erleichterten Lernprozess richtig umgesetzt. Es gibt aber dennoch einige Aspekte, die noch nicht berücksichtigt worden sind, um die kognitive Beanspruchung weiter zu reduzieren.

12.4.2 wikis.zum.de

Diese Homepage ist ein Service der *Zentrale für Unterrichtsmedien im Internet (ZUM Internet)* aus Deutschland. ZUM Internet ist ein gemeinnütziger Verein mit dem Ziel, Unterrichtsmaterialien für verschiedene Fächer, Klassen und Schultypen in einer „Materialbörse“ online bereitzustellen. Der Verein wird hauptsächlich von engagierten Lehrerinnen und Lehrern selbst organisiert und finanziert. zum.de bietet vielfältige Services. Neben den Unterrichtsmaterialien werden nützliche Links, Buchempfehlungen sowie Foren und Blogs zum Austausch für Lehrerinnen und Lehrer bereitgestellt. Jede/r, die/der mitarbeiten möchte, muss sich vorher per E-Mail beim Verein anmelden.

Das ZUM-Wiki ist nun eine offene Plattform für den Austausch von Informationen, Erfahrungen und Ideen rund um Unterricht und Schule sowie für Lehrinhalte und Lernprozesse. Das Wiki ist nach Fächern gegliedert und aufgebaut. Für das Fach Mathematik wird eine Vielzahl an Lernpfaden und Links zu weiteren Lernmaterialien im Internet geboten. Darüber hinaus werden viele nützliche Informationen rund um den Unterricht in Mathematik an sich zur Verfügung gestellt.

Für die folgende Analyse wurde ein Lernpfad zu quadratischen Funktionen ausgewählt. Dieser Lernpfad wurde 2009 vom damaligen Mathematikstudenten Michael Schober erstellt.

Quadratische Funktionen – Lernpfad

Webadresse: http://wikis.zum.de/dmuw/Lernpfade/Quadratische_Funktionen

Mathematische Inhalte:

Der Lernpfad deckt wesentliche Aspekte des Themengebiets „Quadratische Funktionen“ ab. Es werden Eigenschaften quadratischer Funktionen besprochen und mit denen linearer Funktionen verglichen. Es wird die Scheitelpunktsform eingeführt. Die einzelnen Parameter werden dabei nacheinander eingeführt und deren Auswirkung auf den Graphen quadratischer Funktionen erklärt. Des Weiteren wird erklärt, wie die Koordinaten des Scheitelpunkts der Parabel aus der Scheitelpunktsform abgelesen werden können. Es wird auch die allgemeine Form für

quadratische Funktionen thematisiert. Hierbei wird vor allem auf die Umformung von der Scheitelpunktsform in die allgemeine Form und umgekehrt Wert gelegt. Sowohl bei der Scheitelpunktsform $f(x) = a \cdot (x - x_s)^2 + y_s$ als auch bei der allgemeinen Form $f(x) = ax^2 + bx + c$ wird in den Funktionstermen zunächst auf den Parameter a verzichtet bzw. mit $a = 1$ gearbeitet. Dieser Parameter wird am Ende eigens genauer beleuchtet und es wird näher auf Stauchung und Streckung einer Parabel eingegangen. Erst danach wird dieser Parameter mit den beiden allgemeinen Funktionstermen für quadratische Funktionen explizit zusammengeführt.

Gliederung und Übersicht des Lernpfads:

Der Lernpfad ist in fünf kleinere Lerneinheiten unterteilt. Der Autor spricht dabei ebenfalls von Lernpfaden. Um Verwirrungen zu vermeiden, werden diese Unterteilungen im Folgenden als Lerneinheiten bezeichnet.

Lerneinheit 1 hat den Namen „Die Quadratische Funktion stellt sich vor“. Darin wird auf Eigenschaften quadratischer Funktionen eingegangen. Als Beispiel wird jedoch nur die Funktion f mit $f(x) = x^2$ vorgestellt.

Die zweite Lerneinheit widmet sich der Scheitelpunktsform quadratischer Funktionen. Allerdings wird hier zunächst der Parameter a vor der Klammer stillschweigend auf den Wert 1 gesetzt und mit dem Funktionsterm $f(x) = (x - x_s)^2 + y_s$ gearbeitet.

In der dritten Lerneinheit wird die allgemeine Form quadratischer Funktionen besprochen. Hier wird zunächst ebenfalls ohne darauf einzugehen für den Parameter a im Funktionsterm $f(x) = ax^2 + bx + c$ der Wert 1 eingesetzt und der Term $f(x) = x^2 + bx + c$ betrachtet.

Erst in der vierten Lerneinheit wird nun der für Stauchung und Streckung verantwortliche Parameter a thematisiert. Dies geschieht wiederum erst mit dem Funktionsterm $f(x) = a \cdot x^2$.

In der fünften Lerneinheit wird nun dieser Parameter a zur Scheitelpunktsform und allgemeinen Form explizit hinzugefügt.

Für die folgende Analyse wurde die zweite Lerneinheit ausgewählt. Diese Lerneinheit trägt den Titel „Die Quadratische Funktion " $f(x) = (x - x_s)^2 + y_s$ " – Die Scheitelpunktsform“. Ausgehend von der quadratischen Funktion f mit $f(x) = x^2$ wird die Scheitelpunktsform $f(x) = (x - x_s)^2 + y_s$ schrittweise in sechs Stationen

erarbeitet. Die Parameter werden dabei zunächst immer einzeln vorgestellt. Im Anschluss daran sind jeweils Aufgaben zu lösen, um das neu erlernte Wissen zu festigen. Zum Schluss werden die beiden Parameter zur obigen Formel zusammengeführt und es werden weitere Aufgaben zum Üben dargeboten.

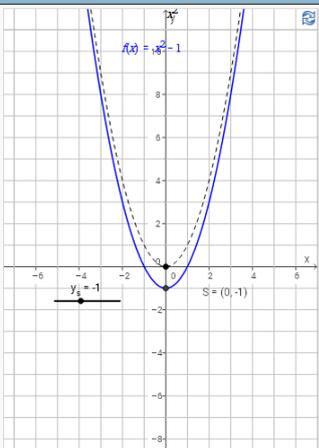
Beschreibung der Lernumgebung:

Die Lerneinheit beginnt mit einer Übersicht der Inhalte der Einheit. Bevor es mit der ersten Station losgeht, wird in einer Vorbemerkung der Begriff der *Normalparabel* eingeführt. Die Funktionsgleichung $f(x) = x^2$ sowie der Begriff Normalparabel sind dabei fett gedruckt dargestellt.

In Station 1 wird der Parameter y_s eingeführt, indem er zu x^2 dazu addiert wird.

Bearbeite das folgende Arbeitsblatt und entdecke die Eigenschaften vom Parameter y_s !

Quadratische Funktion " $f(x) = x^2 + y_s$ "



Hinweise, Aufgabe und Lückentext:

Hinweise:

- In dem "GeoGebra-Applet" links ist die Normalparabel schwarz-gestrichelt und die von y_s abhängige, quadratische Funktion blau eingezeichnet
- Bediene mit gehaltener linker Maustaste den schwarzen Schieberegler y_s , er verändert dessen Wert
- Ziehe im folgenden Lückentext die möglichen Lösungen aus dem blauen Feld, ebenfalls mit gehaltener linker Maustaste, in die richtigen Felder

Aufgabe:
Bediene den Schieberegler y_s . Welche Veränderungen stellst du fest?

Lückentext! - Ordne die richtigen Begriffe zu:

Der Parameter y_s die Normalparabel auf der . Dabei bleibt die verschobene Parabel zur Normalparabel.

Ist der Parameter y_s positiv, so wird die Parabel um y in Richtung der y -Achse nach verschoben.

Ist der Parameter y_s hingegen , so wird die Parabel um y Einheiten in Richtung der nach verschoben.

Der der Parabel befindet sich auf der y -Achse, genauer gesagt bei Punkt . Zudem ist die y -Achse die der Parabel.

Symmetrieachse
verschiebt
unten
 y -Achse
kongruent
oben
Einheiten
negativ
 y -Achse
Scheitelpunkt
[0 | y_s]

Abbildung 20: Interaktives Arbeitsblatt

In einem interaktiven Arbeitsblatt bestehend aus einem Applet und einem Lückentext sollen die Eigenschaften dieses Parameters selbstständig entdeckt werden. Im Applet kann mit Hilfe eines Schiebereglers der Wert von y_s verändert werden und so die Parabel entlang der y -Achse verschoben werden. Die Bedienung des Applets und des Lückentextes wird im Arbeitsblatt ausführlich erklärt. Die Lösungswörter des Lückentextes müssen per „Drag & Drop“ in die richtigen Felder platziert werden. Sind alle Wörter zugeordnet, so erscheint ein Prüfbutton, mit dem die Lösung überprüft werden kann. Falsch zugeordnete Wörter springen bei Betätigung des Prüfbuttons wieder zurück in das blaue Feld und müssen erneut auf die grünen Felder verteilt werden. Sind die Lösungswörter richtig zugeordnet worden, so färbt sich das blaue

Feld beim Betätigen des Prüfbuttons ebenfalls grün. Darin erscheint ein kurzer Text, in dem bestätigt wird, dass die Aufgabe richtig gelöst worden ist.

Unterhalb des Arbeitsblatts werden die wichtigsten Erkenntnisse für die Funktionsgleichung $f(x) = x^2 + y_s$ in einem kleinen Absatz aufgelistet. Dieser Absatz ist durch die Überschrift „Merke“ und einen gelben Streifen am linken Rand gekennzeichnet. Die wichtigen Begriffe werden wieder fett gedruckt dargestellt.

In Station 2 folgen nun vier Aufgaben, um das erlernte Wissen aus der vorangegangenen Station zu vertiefen. Bei allen vier Aufgaben handelt es sich um Drag & Drop Zuordnungsübungen.

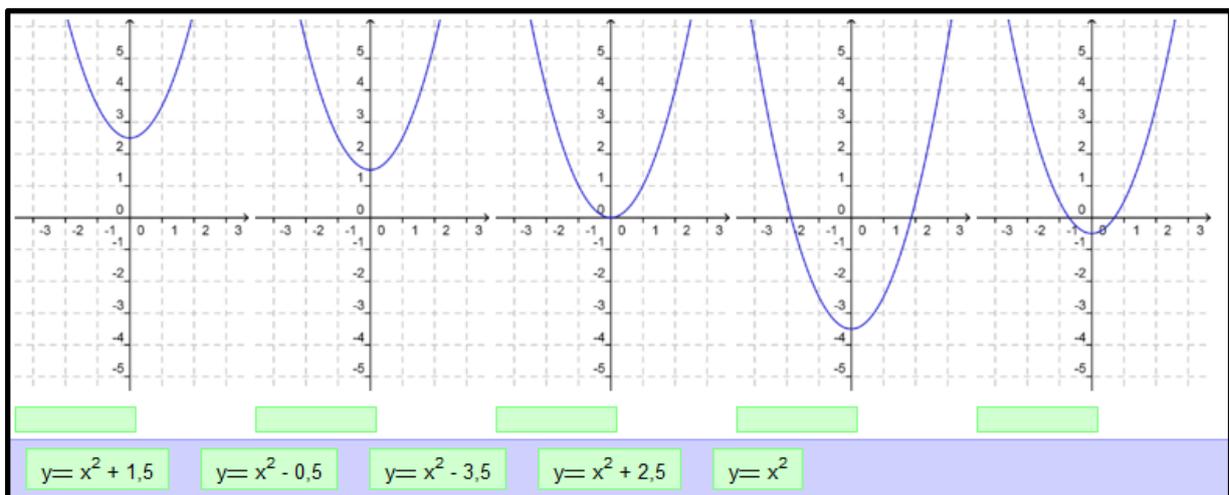


Abbildung 21: Aufgabe 1

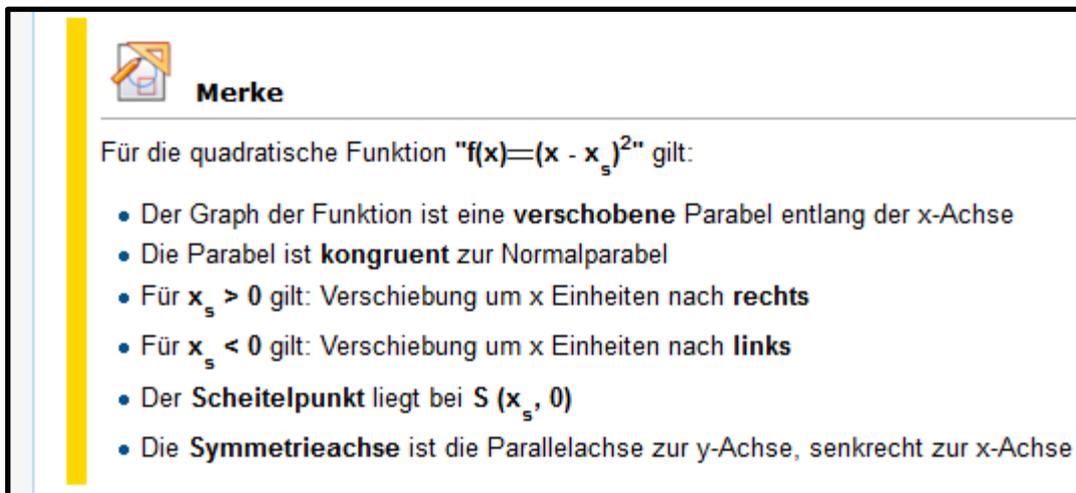
In Aufgabe 1 muss vorgegebenen Graphen die jeweils passende Funktionsgleichung zugeordnet werden.

In Aufgabe 2 muss anhand vorgegebener Scheitelpunkte die Funktionsgleichung bestimmt und den Scheitelpunkten zugeordnet werden. Da bislang nur eine Verschiebung der Parabel entlang der y -Achse eingeführt worden ist, haben die x -Koordinaten der Scheitelpunkte jeweils den Wert 0.

In Aufgabe 3 wird das Ganze nun umgekehrt. Hier muss nun den vorgegebenen Funktionsgleichungen der jeweils zugehörige Scheitelpunkt zugeteilt werden.

In Aufgabe 4 sind fünf Funktionsgleichungen sowie fünf Punkte gegeben. Diese Punkte liegen jeweils auf einer der durch die Funktionsgleichungen bestimmten Parabeln. Jeder Funktionsgleichung muss der Punkt zugeordnet werden, der auf ihrer Parabel liegt. Es wird eine Hilfestellung zur Verfügung gestellt, in der erklärt wird, wie herausgefunden werden kann, ob ein Punkt auf der Parabel liegt oder nicht.

In Station 3 wird die Funktionsgleichung $f(x) = (x - x_s)^2$ näher betrachtet. Mit Hilfe eines Applets kann die Veränderung der Position der Normalparabel durch unterschiedliche Werte des Parameters x_s untersucht werden. Die Werte von x_s werden dabei über einen Schieberegler eingestellt. Im Anschluss folgt ein Lückentext. Die Funktionsweise ist ident zu dem oben beschriebenen Lückentext. Als Abschluss dieser Station folgt wieder eine Auflistung der wichtigen Erkenntnisse.



Merke

Für die quadratische Funktion " $f(x) = (x - x_s)^2$ " gilt:

- Der Graph der Funktion ist eine **verschobene** Parabel entlang der x-Achse
- Die Parabel ist **kongruent** zur Normalparabel
- Für $x_s > 0$ gilt: Verschiebung um x Einheiten nach **rechts**
- Für $x_s < 0$ gilt: Verschiebung um x Einheiten nach **links**
- Der **Scheitelpunkt** liegt bei **S (x_s , 0)**
- Die **Symmetrieachse** ist die Parallelachse zur y-Achse, senkrecht zur x-Achse

Abbildung 22: Auflistung der wichtigen Erkenntnisse in einem „Merke“-Absatz

Dieser Absatz ist wie zuvor mit der Überschrift „Merke“ und dem gelben Streifen am linken Rand gekennzeichnet. Die wichtigen Begriffe sind wieder fett gedruckt dargestellt. Unterhalb dieses kleinen Absatzes wird noch einmal explizit darauf hingewiesen, dass bei positiven Werten von x_s eine Verschiebung nach rechts erfolgt, obwohl in der Klammer ein Minus vor dem x_s steht. Ebenso wird auf den Fall von negativen Werten von x_s hingewiesen, nur dass es dort genau umgekehrt ist.

In Station 4 folgen wieder drei Aufgaben, um die erlernten Inhalte zu verinnerlichen. In Aufgabe 1 muss fünf vorgegebenen Graphen die jeweils richtige Funktionsgleichung zugeordnet werden.

Um Aufgabe 2 richtig zu lösen, müssen vorgegebenen Scheitelpunkten die richtigen Funktionsgleichungen zugeordnet werden. Dieses Mal sind, im Unterschied zu vorhin, alle y-Koordinaten mit dem Wert 0 belegt.

In Aufgabe 3 müssen drei Normalparabeln in einem Koordinatensystem entlang der x-Achse mit Schiebereglern verschoben werden. Sie müssen so verschoben werden, dass ihre Positionen drei vorgegebenen Funktionsgleichungen entsprechen. Durch Anklicken eines Kontrollkästchens innerhalb des Koordinatensystems werden drei

blau-gestrichelte Parabeln eingeblendet, die sich an den gesuchten Positionen befinden. Decken sie sich mit den zuvor verschobenen Parabeln, so wurde die Aufgabe korrekt gelöst.

Es folgt Station 5. Hier wird nun, nachdem die zwei Parameter x_s und y_s einzeln eingeführt worden sind, die Scheitelpunktsform für quadratische Funktionen eingeführt. Bevor der Funktionsterm $f(x) = (x - x_s)^2 + y_s$ aufgestellt wird, werden zunächst in einer Zuordnungsübung die wichtigsten Eigenschaften der beiden Parameter wiederholt. Es werden je acht Fragen und Antworten vorgegeben, die mittels Drag & Drop richtig zugeordnet werden müssen.

Als nächstes wird die Scheitelpunktsform aufgestellt. Es wird auch erklärt, wovon sich dieser Name ableitet. Danach folgt ein Kreuzworträtsel. Darin werden noch einmal Eigenschaften zur Scheitelpunktsform abgefragt. Die Felder mit den Anfangsbuchstaben der Wörter sind mit den Ziffern 1 bis 9 gekennzeichnet. Werden die Ziffern angeklickt, öffnet sich ein kleines Fenster. Darin befinden sich die Frage zum gesuchten Wort sowie das Eingabefeld. Erst wenn alle Felder ausgefüllt sind, können die Ergebnisse überprüft werden.

Unterhalb des Kreuzworträtsels werden erneut in einem kleinen Absatz die wichtigsten Erkenntnisse zur Scheitelpunktsform aufgelistet. Wie zuvor ist auch dieser Absatz mit einem gelben Streifen markiert und mit der Überschrift „Merke“ versehen. Die wichtigen Begriffe sind wieder fett gedruckt dargestellt.

Zum Abschluss dieser Lerneinheit folgt Station 6 mit weiteren vier Aufgaben zur Scheitelpunktsform.

Aufgabe 1 ist eine Multiple-Choice-Aufgabe. Zu einer vorgegebenen Funktionsgleichung müssen zutreffende Aussagen angekreuzt werden. Es sind vier verschiedene Gleichungen mit entweder fünf oder sechs möglichen Aussagen gegeben. Nach Anklicken des Prüfbuttons werden alle zutreffenden Aussagen grün hinterlegt, egal ob sie angekreuzt worden sind oder nicht. Falsch angekreuzte Aussagen werden rot hinterlegt. Zusätzlich wird der Prozentsatz der richtigen Antworten angezeigt.

Aufgabe 2 ist wiederum eine Zuordnungsübung von Scheitelpunkten und Funktionsgleichungen. Dieses Mal sind allerdings beide Koordinaten ungleich 0.

In Aufgabe 3 sind in vier Koordinatensystemen vier Parabeln abgebildet. Jede Parabel ist dabei in einer anderen Farbe gezeichnet. Es wird verlangt, vier Funktionsgleichungen richtig zuzuordnen.

In Aufgabe 4 wird eine Funktionsgleichung vorgegeben. Es soll nun für vier Punkte festgestellt werden, ob diese auf dem Graphen der Funktion liegen oder nicht. Dies soll durch Kopfrechnen festgestellt werden. In einer Hilfestellung wird erklärt, wie dabei vorzugehen ist. Zur Kontrolle wird ein Applet angeboten. Darin muss zuerst die Parabel entsprechend der Funktionsgleichung richtig positioniert werden. Danach können die gegebenen Punkte eingezeichnet werden. Dadurch kann kontrolliert werden, welche auf der Parabel liegen.

Analyse:

Vor der Analyse der ausgewählten Lerneinheit ist festzuhalten, dass die Gliederung des gesamten Lernpfads in fünf Einheiten bereits eine gute Maßnahme zur Reduktion der kognitiven Beanspruchung darstellt. Durch die Aufteilung des Inhalts in fünf Segmente können die Informationen stückweise aufgenommen werden. Die Abschnitte stellen auch eine klare Abgrenzung der einzelnen Teile dar, zwischen denen kleine Lernpausen eingelegt werden können. Diese Pausen sind wichtig, da es für einen erfolgreichen Lernprozess essentiell ist, genügend Zeit zur Organisation und Integration der neuen Informationen im Gedächtnis zur Verfügung zu haben.

Viele der folgenden Aspekte der Analyse der Lerneinheit lassen sich auf den gesamten Lernpfad übertragen, da die gestalterischen Elemente in den einzelnen Lerneinheiten gleich bleiben.

Aus Sicht der behandelten Theorien ist die Lerneinheit sehr gut konzipiert worden. Viele gestalterische Aspekte, durch die der Lernprozess erleichtert wird, sind darin gut umgesetzt worden.

- Der Autor wendet für diese Lerneinheit die Methode des Pretrainings an. Sowohl der Parameter x_S als auch der Parameter y_S werden zunächst einzeln betrachtet. Erst im Anschluss daran werden sie zu einer Formel zusammengefügt. Dies ist eine gute Maßnahme, denn so wird zunächst einmal gelernt, welche Auswirkungen die Parameter einzeln auf den Graphen

der Funktion haben. Diese Auswirkungen sollen auch mit zahlreichen Aufgaben eingeübt und verinnerlicht werden. Dadurch fällt es danach leichter, den Funktionsterm $f(x) = (x - x_s)^2 + y_s$ zu verstehen.

Zusätzlich dazu werden in Station 5, bevor die beiden Parameter zur Scheitelpunktsform zusammengeführt werden, noch einmal die wichtigsten Eigenschaften der einzelnen Parameter wiederholt.

- Die kleinen „Merke“-Absätze sind durch den gelben Streifen am linken Rand gut hervorgehoben. Die Darstellungsform der Inhalte als Auflistung erzeugt Übersichtlichkeit. Durch die fett gedruckte Darstellung der wichtigen Informationen bzw. Begriffe wird die Aufmerksamkeit sofort auf sie gerichtet. Sie springen ins Auge und reduzieren so die kognitive Beanspruchung.
- Beim Arbeitsblatt in Station 1 wird sehr gut die Möglichkeit der doppelten Kodierung genutzt. Links im Applet werden die Inhalte bildlich dargestellt, die im Lückentext in Worten beschrieben werden.
- Des Weiteren sind die Aufteilung und die Größe des Arbeitsblatts gut gelungen. Auf der linken Seite wird das Applet abgebildet, auf der rechten die Hinweise, die Aufgabe und der Lückentext. Somit können alle Elemente des Arbeitsblatts schön auf einmal überblickt werden. Das gesamte Arbeitsblatt wirkt dadurch auch sehr übersichtlich.
- Bei den Zuordnungsübungen ist ebenfalls die richtige Darstellungsgröße gewählt worden. Alles kann gut auf einmal überblickt werden.
- In Station 3 ist das Applet genau richtig vor dem zugehörigen Lückentext eingefügt worden. Wie schon zuvor wird auch hier die Möglichkeit der doppelten Kodierung sehr gut genutzt. Im Applet werden die Inhalte dargestellt, die im Lückentext beschrieben werden.
- Sehr gut ist die explizite Hervorhebung der Problematik des Rechenzeichens zwischen x und x_s bei positiven bzw. negativen Werten von x_s . Dadurch wird

die Aufmerksamkeit noch einmal darauf gelenkt, obwohl die Problematik bereits im Lückentext behandelt worden ist.

- Die Inhalte der gesamten Lerneinheiten sind auf das Wesentliche beschränkt. Es werden keine überflüssigen Informationen dargeboten, die aktiv ausgeblendet werden müssen.
- Die einzelnen Abschnitte der Einheit sind klar voneinander getrennt. Dies geschieht einerseits über die Aufteilung der Inhalte in mehrere Stationen. Innerhalb der Stationen wird andererseits auch immer genügend Abstand zwischen den verschiedenen Aufgaben und Abschnitten frei gelassen. Durch diese deutliche Trennung wird den Lernenden geholfen, zusammengehörende Teile ohne große kognitive Anstrengung zu erkennen.
- Es werden zweimal Hilfestellungen angeboten, die allerdings erst über eine Schaltfläche eingblendet werden müssen. Das ist gut, weil sie auf diese Weise nicht ablenken können, wenn die Hilfe nicht benötigt wird. Die zusätzliche Erklärung muss nicht aktiv ausgeblendet werden, wodurch sich die kognitive Beanspruchung unnötig erhöhen würde.

-
- Die „Drag & Drop“-Funktion bei den Zuordnungsübungen könnte zu leichten Problemen führen. Diese ist nicht immer ganz einwandfrei zu bedienen. Wenn zwei Felder nahe beieinander liegen, so kommt es öfters vor, dass das Element in das falsche Feld springt. Dies ist aus Sicht der vorgestellten Theorien nicht unbedingt ein Problem, es kann nur manchmal als etwas störend empfunden werden.
 - In Station 3 leidet die Übersichtlichkeit etwas darunter, dass das Applet relativ hoch ist und somit Applet und Text nur knapp auf den Bildschirm passen. Hier wäre es vielleicht übersichtlicher, wenn Applet und Lückentext wie bei Station 1 nebeneinander platziert würden. Das würde die Darstellung des Lückentexts kompakter machen, da er dann schmaler dimensioniert werden müsste. Dies würde ihn leichter überschaubar machen.

- Die beiden Lückentexte in Station 1 und 3 sind gut gemeinte Übungen, die die Lernenden zur aktiven Auseinandersetzung mit dem Text anregen sollen. Allerdings ist die Qualität der Lückentexte nicht die beste. Manche Lücken im Text sind überflüssig, da alleine grammatikalisch nur ein bestimmtes Lösungswort in Frage kommen kann und somit ein Nachdenken über den mathematischen Inhalt der Aussage nicht von Nöten ist.

Die Lerneinheit sowie der gesamte Lernpfad weisen behavioristische und kognitivistische Grundzüge auf. Die strikte Vorgabe der Inhalte und die lineare Struktur der Bearbeitung sind charakteristisch für behavioristische Lernumgebungen. Des Weiteren sind bei vielen Aufgaben mehrere Übungsaufgaben zu lösen, die alle nach dem gleichen Schema funktionieren. Damit soll ein konkretes Lösungsverfahren trainiert werden, was wiederum dem Behaviorismus zuzuordnen ist.

Kognitivistische Elemente des Lernpfads stellen vor allem die einzelnen Applets dar, mit denen die Lernenden Erkenntnisse gewinnen und verifizieren sollen.

Der Lernpfad weist allerdings keine Merkmale konstruktivistischer Lernumgebungen auf. Zentrale Prinzipien konstruktivistischer Lernangebote, wie das Lernen mit authentischen Problemen, das Lernen in multiplen Kontexten oder das Lernen in einem sozialen Kontext, sind nicht vorhanden.

Analyse der mathematischen Inhalte des gesamten Lernpfads:

Wie bereits oben erwähnt, deckt der Lernpfad die wesentlichen Aspekte des Themengebiets „Quadratische Funktionen“ ab. Der inhaltliche Aufbau ist gut nachvollziehbar. Die Verwendung der Parameter x_S und y_S in der Scheitelpunktsform ist in der Literatur seltener zu finden als die Verwendung der Parameter d und e . Da die beiden Parameter die Koordinaten des Scheitelpunkts darstellen, ist diese Bezeichnung aber durchaus nachvollziehbar. Es könnte allerdings sein, dass die Parameter auf diese Weise mit den Variablen x und y verwechselt werden.

Es ist gut, dass im Anschluss an die neu eingeführten Parameter, Funktionsterme oder Methoden jeweils mehrere Aufgaben zum Einüben der Inhalte bereitgestellt werden. Dadurch kann das neue Wissen angewandt und im Gedächtnis integriert

werden. Es ist allerdings schade, dass im gesamten Lernpfad nur eine einzige Aufgabe mit Alltagsbezug zu finden ist. Hier könnte durchaus noch etwas nachgebessert werden, indem als Abschluss des Lernpfads weitere anwendungsorientierte Aufgaben gestellt werden.

In der analysierten Lerneinheit ist dem Autor in den Lückentexten und den darauffolgenden „Merke“-Absätzen ein Fehler passiert. Es geht dabei um die Verschiebung der Parabel in x - bzw. y -Richtung. Anstelle einer Verschiebung um x_s bzw. y_s Einheiten schreibt er von einer Verschiebung um x bzw. y Einheiten.

Problematisch ist auch ein weiterer Fehler, der sich durch den gesamten Lernpfad zieht. Er tritt auch bereits in den Titelüberschriften der zwei Lerneinheiten „Die Quadratische Funktion " $f(x) = (x - x_s)^2 + y_s$ " – Die Scheitelpunktsform“ sowie „Der Graph der quadratischen Funktion " $f(x) = ax^2$ "“ auf. Mathematisch korrekt müsste jeweils anstelle „[...] Funktion $f(x) = [...]$ “ eigentlich „[...] Funktion f mit $f(x) = [...]$ “ geschrieben werden.

Fazit:

Dieser Lernpfad ist sowohl auf Grund der Gestaltung als auch auf Grund der behandelten mathematischen Inhalte gut gelungen. Viele Kriterien für eine möglichst gute Informationsverarbeitung und eine geringe sachfremde kognitive Beanspruchung sind in diesem Lernpfad umgesetzt worden. Die mathematischen Inhalte decken die wesentlichen Aspekte zu diesem Themengebiet ab. Die Aufgaben könnten einen größeren Praxisbezug bzw. Bezug zu realen Problemstellungen aufweisen. Das könnte eine zusätzliche Motivation für die Schülerinnen und Schüler darstellen. Auch die oben angeführten inhaltlichen Fehler sollten vom Autor unbedingt noch ausgebessert werden.

12.4.3 www.juergen-roth.de

Jürgen Roth ist Professor für *Mathematik und ihre Didaktik* an der deutschen Universität Koblenz-Landau. Auf seiner Homepage stellt er unter anderem interaktive Arbeitsblätter für den Mathematikunterricht an Realschulen und Gymnasien zur Verfügung. Diese Arbeitsblätter wurden in zwei Lehrerarbeitskreisen erstellt. Der für die nachfolgende Analyse verwendete Lernpfad entstammt dem „Arbeitskreis GeoGebra“ und ist für das Gymnasium konzipiert. Er wurde von Klaus Hein, Lehrer am Jack-Steinberger-Gymnasium Bad Kissingen (Bayern), erstellt. Der Lernpfad trägt den Titel „Parabeln – Graphen quadratischer Funktionen“.

Parabeln – Graphen quadratischer Funktionen

Webadresse: <http://www.juergen-roth.de/dynama/AKGeoGebra/parabel/index.html>

Mathematische Inhalte:

In dem Lernpfad wird die Scheitelpunktsform quadratischer Funktionen behandelt. Nacheinander wird der Einfluss der einzelnen Funktionsparameter auf den Graphen quadratischer Funktionen untersucht. Den Ausgangspunkt bildet jeweils der Graph der Normalparabel $f(x) = x^2$.

Es wird auch kurz darauf eingegangen, wie die Koordinaten des Scheitelpunkts aus der Funktionsgleichung ablesbar sind. Die allgemeine Form quadratischer Funktionen wird in diesem kurzen Lernpfad nicht berücksichtigt.

Als Voraussetzung für den Lernpfad werden Grundkenntnisse zu Funktionsgraphen angegeben.

Gliederung und Übersicht des Lernpfads:

Bei diesem Lernpfad handelt es sich um einen relativ kurzen Pfad. Laut Angabe des Autors Klaus Hein ist eine Bearbeitungszeit von 45 Minuten vorgesehen. Der Lernpfad sollte also in einer Unterrichtseinheit durchführbar sein. Der Inhalt ist auf sieben Seiten aufgeteilt worden.

Da der Lernpfad so kurz gehalten ist, wird dieses Mal der gesamte Lernpfad für die Analyse herangezogen.

Beschreibung der Lernumgebung:

Die ersten sechs Seiten des Lernpfads sind alle nach demselben Muster aufgebaut.

The screenshot shows a learning environment interface. On the left, there is a navigation sidebar with a title 'Die Parabel' and a list of steps: 1. $f(x) = x^2 + c$, 2. $f(x) = (x - b)^2$, 3. $f(x) = (x - b)^2 + c$, 4. $f(x) = ax^2$, 5. $f(x) = a(x - b)^2 + c$, 6. zeichnen, 7. Tests. The main area on the right features a coordinate system with a blue parabola opening upwards, its vertex at the origin (0,0). Above the graph, the general equation $f(x) = x^2 + c$ and a specific instance $f(x) = x^2 + (0)$ are shown. Below the graph, a slider for the parameter c is visible, with a red question mark icon next to it. Below the graph area, there are four numbered instructions: 1. 'Bewege den Schieber c ganz langsam hin und her! und beobachte wie sich die Normalparabel verändert.' (with a red question mark icon), 2. 'Formuliere das Ergebnis!' (with a pencil icon), 3. 'Untersuche wie die Verschiebung vom Wert des Parameters c abhängt.', 4. 'Formuliere erst das Ergebnis und vergleiche dann!' (with a pencil icon).

Abbildung 23: Aufbau der Seiten

Im oberen Abschnitt befindet sich auf der linken Seite die Navigationsleiste für den Lernpfad. Rechts daneben ist ein Applet eingefügt. Die Applets sind vom Prinzip her alle gleich aufgebaut. In einem Koordinatensystem werden die Normalparabel, ein oder mehrere Schieberegler sowie die Funktionsgleichung dargestellt. Die Funktionsgleichung wird dabei immer zweimal abgebildet, einmal mit den Parametern und einmal mit den eingesetzten Werten für die Parameter. Die für die Parameter eingesetzten Werte werden in der Funktionsgleichung in eigenen Klammern geschrieben dargestellt. Die eingesetzten Werte werden außerdem in derselben Farbe dargestellt wie die Schieberegler zum Einstellen der Werte. Dieser gesamte obere Abschnitt der Seiten hat eine fix verankerte Position am Bildschirm.

Beim Hinauf- und Hinunterscrollen bleibt dieser Teil sichtbar vorhanden und nur die Inhalte darunter bewegen sich.

Im unteren Abschnitt der Seiten werden die zugehörigen Arbeitsaufträge formuliert. Neben und unterhalb der Arbeitsaufträge sind stets verschiedene Symbole abgebildet. Ein weißes Fragezeichen vor rotem Hintergrund liefert durch Anklicken eine Hilfestellung. Mit einem abgebildeten Bleistift wird signalisiert, dass die Ergebnisse im Heft niedergeschrieben werden sollen. Ein weißes „K“ vor blauem Hintergrund wird als Kontrollbutton verwendet. Durch Anklicken erscheint das formulierte Ergebnis zum Vergleichen mit den eigenen Ergebnissen.

Auf der ersten Seite des Lernpfads wird die Verschiebung der Normalparabel entlang der y -Achse behandelt.

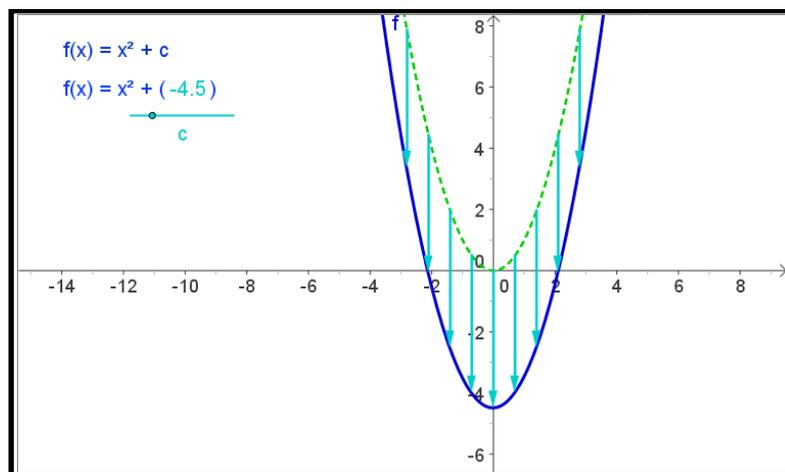


Abbildung 24: Applet Seite 1

Über einen Schieberegler kann die Parabel im Applet entlang der y -Achse verschoben werden. Die Normalparabel bleibt dabei grün strichliert eingezeichnet. Mit mehreren türkisfarbenen Pfeilen, ausgehend von der Normalparabel hin zur aktuellen Position der blau gezeichneten Parabel, wird die Verschiebung zusätzlich markiert.

Der Arbeitsauftrag ist unterhalb des Applets abgebildet. Dieser besteht darin, die Veränderung der Normalparabel bei Bewegung des Schiebereglers zu beobachten. Es soll außerdem untersucht werden, wie die Verschiebung der Parabel mit dem Parameter c zusammenhängt.

Auf der nächsten Seite wird die Verschiebung der Normalparabel entlang der x -Achse behandelt.

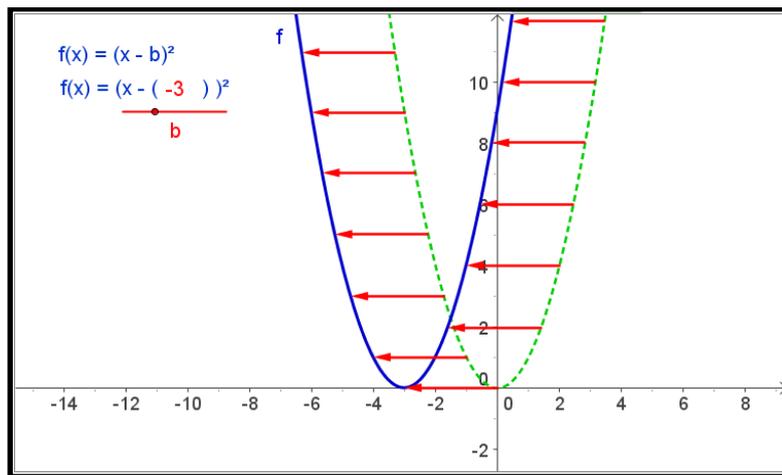


Abbildung 25: Applet Seite 2

Wiederum kann im Applet die Parabel über einen Schieberegler verschoben werden. Die Pfeile zur Markierung der Verschiebung sind diesmal rot dargestellt. Der Arbeitsauftrag ist der gleiche wie zuvor, nur für den Parameter b .

Auf Seite 3 werden die beiden Parameter der vorangegangenen Seiten zusammengeführt. Es wird nun der Funktionsterm $f(x) = (x - b)^2 + c$ betrachtet.

Der Arbeitsauftrag besteht nun zunächst in der Bestimmung der Funktionsvorschrift für vier verschiedene Parabeln. Das Ergebnis soll im

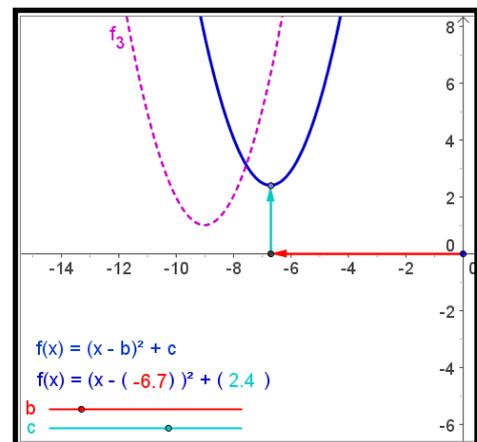


Abbildung 26: Applet Seite 3

Anschluss im Applet mit zwei Schiebereglern überprüft werden. Die Verschiebung der Parabel aus dem Ursprung wird mit je einem Pfeil auf der ersten und parallel zur zweiten Achse zusätzlich markiert. In weiterer Folge sind noch Arbeitsaufträge zur Bestimmung der Scheitelkoordinaten gestellt.

Auf Seite 4 wird Stauchung und Streckung der Parabel behandelt.

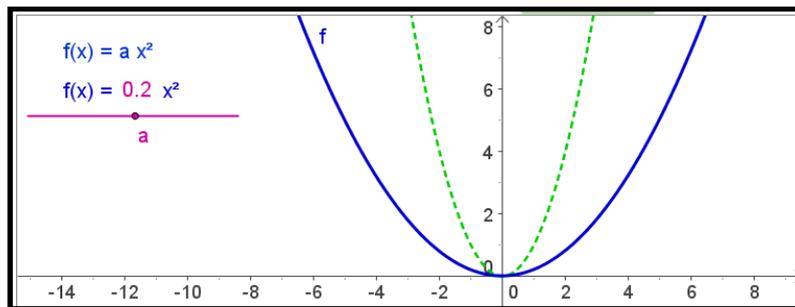


Abbildung 27: Applet Seite 4

Der Arbeitsauftrag besteht wieder darin, zunächst im Applet über einen Schieberegler verschiedene Werte für den Parameter a einzustellen. Es sollen die Veränderungen beobachtet und anschließend untersucht werden, wie die Öffnung bzw. die Breite der Parabel von diesem Parameter abhängen.

Seite 5 ist im Prinzip ident zu Seite 3. Es soll die Funktionsvorschrift für vier Parabeln bestimmt und mit Hilfe des Applets überprüft werden. Der einzige Unterschied liegt darin, dass nun mit dem Funktionsterm $f(x) = a \cdot (x - b)^2 + c$ gearbeitet wird.

Auf Seite 6 geht es darum, die Werte der Parameter richtig aus der Funktionsgleichung ablesen zu können.

Diese Werte müssen anschließend mit Schieberegler richtig eingestellt werden, um die gesuchte Parabel zu zeichnen. Danach kann die gesuchte Lösung zum Vergleich eingeblendet werden. Für diese Übung werden vier verschiedene Funktionsgleichungen bereitgestellt.

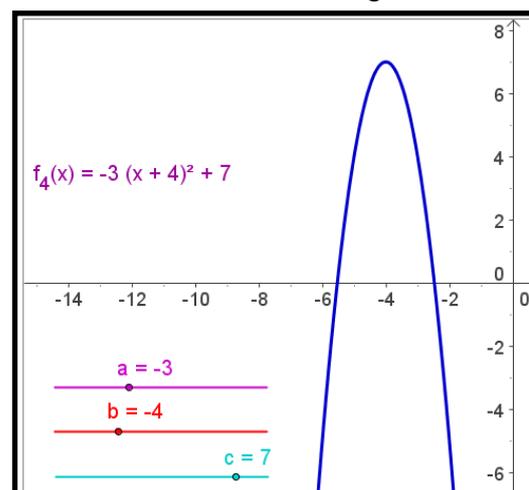


Abbildung 28: Applet Seite 6

Auf der letzten Seite wird ein kleiner Test angeboten. Dieser kann allerdings nicht online ausgefüllt werden, sondern müsste erst ausgedruckt und dann per Hand erledigt werden. Abschließend sind noch vier Links zu verschiedenen Übungen auf der Seite www.realmath.de gegeben.

Analyse:

- Der obere Abschnitt der Seiten hat eine fixe Position auf dem Bildschirm. Beim Scrollen wird nur der untere Abschnitt mit den Anweisungen verschoben. Das ist eine hervorragende Lösung, da sich somit ein Hin- und Herscrollen zwischen Arbeitsauftrag und Applet erübrigt. Die sachfremde kognitive Beanspruchung wird dadurch nicht unnötig erhöht. Des Weiteren ist das Applet vor dem Text eingefügt, also aus Sicht der Cognitive Load Theory genau richtig.
- Die gleiche Farbe bei der Darstellung der für die Parameter eingesetzten Werte und dem jeweiligen Schieberegler vereinfacht die Kohärenzbildung. Es wird sofort klar, welcher Schieberegler welchen Wert in der Funktionsgleichung verändert. Dies verringert ebenfalls die sachfremde kognitive Beanspruchung.
- Durch die Klammerschreibweise der eingesetzten Werte in den Funktionsgleichungen innerhalb der Applets können vor allem negative Werte leichter abgelesen werden. Besonders beim Parameter b stellt diese Maßnahme eine gute Hilfestellung dar, um der Verwechslung von positiven und negativen Werten entgegenzuwirken.
- Die zusätzliche Markierung der Verschiebung der Normalparabel aus dem Ursprung stellt eine optische Hilfestellung dar. Es wird hervorgehoben, in welche Richtung sich die Normalparabel bewegt. Die Pfeile sind dabei wiederum in derselben Farbe wie die jeweiligen Schieberegler und eingesetzten Werte gehalten.
- In mehreren Stationen wird die Möglichkeit der doppelten Kodierung ausgenutzt. Die Veränderung der Position bzw. Form der Parabel wird zunächst mit einem Applet veranschaulicht. Durch Anklicken des Kontrollbuttons erscheint dann die zuvor dargestellte Veränderung auch schriftlich erklärt. In dieser Erklärung werden die wichtigen Formeln und Begriffe farblich vom restlichen Text hervorgehoben dargestellt.

- Auch bei diesem Lernpfad wird die Methode des Pretrainings angewandt. Die Parameter werden zunächst einzeln betrachtet, bevor sie zum Funktionsterm $f(x) = a \cdot (x - b)^2 + c$ zusammengefügt werden. Durch die separate Betrachtung der Veränderungen der Normalparabel werden die kognitiven Ressourcen weniger belastet, als wenn alle drei Parameter gleichzeitig eingeführt werden würden.
- Die Inhalte sind kompakt auf etwa zwei Drittel der gesamten Bildschirmbreite. Das erhöht die Übersichtlichkeit der Seiten.
- Durch die Aufteilung der Inhalte auf mehrere Seiten erfolgt eine klare Trennung der verschiedenen Abschnitte. Es ist ganz klar, welche Inhalte zu welchem Abschnitt gehören und es erfordert keine Anstrengung, dies herauszufinden. Es werden auch keine überflüssigen Informationen gegeben, die aktiv ausgeblendet werden müssten.

Dieser Lernpfad lässt sich ebenfalls dem Behaviorismus sowie dem Kognitivismus zuordnen. Wiederum sind die klar vorgegebene lineare Struktur und das mehrmalige Wiederholen ähnlicher Übungsaufgaben kennzeichnend für behavioristische Lernumgebungen.

Der Einfluss der kognitivistischen Lerntheorie ist erneut anhand der Applets und der Instruktionen zum Entdecken und Verifizieren der Auswirkungen der Parameter auf den Graphen quadratischer Funktionen zu erkennen.

Analyse der mathematischen Inhalte:

Zu den mathematischen Inhalten gibt es mehrere Aspekte anzumerken.

In den Arbeitsaufträgen wird mehrmals von der „Normalparabel“ geschrieben. Es wird allerdings nirgends erklärt, was unter diesem Begriff zu verstehen ist. Es wäre gut, wenn eine kurze Definition der Normalparabel angegeben wäre, um mögliche Unklarheiten zu beseitigen.

Die Buchstaben für die Parameter sind nicht optimal ausgewählt. Es sind dieselben Buchstaben wie sie in der Regel für die allgemeine Form der Funktionsgleichung

$f(x) = ax^2 + bx + c$ verwendet werden. Dadurch besteht die Gefahr, dass die Parameter in der Scheitelpunktsform und der allgemeinen Form verwechselt werden. Hier wäre es deshalb besser, die übliche Scheitelpunktsform $f(x) = a \cdot (x - d)^2 + e$ anstatt von $f(x) = a \cdot (x - b)^2 + c$ zu verwenden.

Die Art und Weise, wie die Scheitelpunktsform schrittweise eingeführt wird, ist gut. Leider wird auch bei diesem Lernpfad die allgemeine Form nicht behandelt. Diese sollte allerdings unbedingt noch zusätzlich im Unterricht durchgenommen werden, da sie für spätere Themen der Oberstufe wichtig ist.

Fazit:

Dieser Lernpfad ist von den gestalterischen Mitteln her gut gelungen. Viele Aspekte zur Verringerung des *extraneous cognitive load* wurden bei der Darstellung der Inhalte umgesetzt. Aufgrund seiner Kürze eignet sich dieser Pfad gut für den Einsatz in einer einzigen Unterrichtseinheit zur Einführung der Scheitelpunktsform. Inhaltlich betrachtet könnte der Lernpfad etwas verbessert werden. Zusätzliche Erklärungen mancher Begriffe sowie die Behandlung der allgemeinen Form quadratischer Funktionen würde die inhaltliche Qualität steigern.

13. Untersuchung in der Schule

Um festzustellen, ob sich die Ergebnisse der Analyse auch im Verhalten bzw. in den Einschätzungen von Schülerinnen und Schülern widerspiegeln, wurden Teile der analysierten Lernmaterialien im Unterricht ausgetestet. Im Anschluss daran wurden die Schülerinnen und Schüler in Interviews über die verwendeten Lernmaterialien befragt. Die Interviewgespräche orientierten sich an Fragenkatalogen (siehe Anhang), die auf die jeweiligen Lernmaterialien abgestimmt worden waren. Die Fragen wurden auch teilweise während des Gesprächs an die gegebenen Antworten der Schülerinnen und Schüler angepasst. Die auf den nachfolgenden Seiten dargestellten Ergebnisse sollen einen Überblick über die Einschätzungen der Schülerinnen und Schüler zu den Lernmaterialien geben. Zu diesem Zweck werden auch einzelne Zitate von Schülerinnen und Schülern aus den Interviews dargestellt.

13.1 Rahmenbedingungen

Die Untersuchung wurde am BG/BRG Rohrbach (OÖ) im Juni 2014 durchgeführt. Es wurden je drei Unterrichtseinheiten, aufgeteilt auf drei Tage, in einer 5. und einer 7. Klasse für die Durchführung zur Verfügung gestellt.

Bei der 5. Klasse handelte es sich um eine Klasse des realgymnasialen Zweigs mit 31 Schülerinnen und Schülern. In dieser Klasse wurden die analysierten Teile der zwei Lernpfade zu quadratischen Funktionen der Webseiten www.schoett-web.de sowie wikis.zum.de ausgetestet. Die Auswahl fiel auf diese beiden Lernpfade, da diese ausschließlich auf JavaScript basierende Applets verwenden. Das Themengebiet „Quadratische Funktionen“ wurde in dieser Klasse noch nicht behandelt und auf das nächste Schuljahr verschoben. Die Inhalte der Lernpfade stellten für die Schülerinnen und Schüler etwas Neues dar.

Die 7. Klasse war eine Klasse des gymnasialen Zweigs mit 15 Schülerinnen und Schülern. Diese Klasse hatte bereits den gesamten Themenblock „Differentialrechnung“ im Unterricht durchgenommen. Deshalb fiel die Auswahl für die auszutestenden Lernmaterialien überwiegend auf Übungsapplets. Die Schülerinnen und Schüler sollten sämtliche analysierten Materialien der Webseite

www.mathe-online.at sowie das interaktive Übungsblatt der Webseite tube.geogebra.org bearbeiten.

13.2 Beschreibung der Durchführung

5. Klasse:

Nach Rücksprache mit dem Mathematiklehrer der Klasse, Prof. Mag. Nikolaus Stelzer, wurde beschlossen, dass alle Schülerinnen und Schüler eine Unterrichtseinheit mit einem Lernpfad verbringen sollen. Dadurch sollte gewährleistet werden, dass alle etwa das gleiche Vorwissen in das nächste Schuljahr mitbringen, wenn das Thema „Quadratische Funktionen“ im Unterricht behandelt wird. Die Schülerinnen und Schüler wurden daher in drei Gruppen aufgeteilt, sodass jede Unterrichtseinheit etwa zehn von ihnen im EDV-Raum an einem der Lernpfade arbeiteten. In den ersten zwei Einheiten wurde mit dem Lernpfad der Webseite www.schoett-web.de gearbeitet, in der dritten mit dem der Seite wikis.zum.de. Ursprünglich wäre geplant gewesen, anstelle der Seite wikis.zum.de mit dem Lernpfad von www.juergen-roth.de zu arbeiten. Da dieser Lernpfad Java-basierte Applets verwendet, wäre die Durchführung erheblich aufwendiger geworden. Es hätte auf den PCs zuerst die neueste Version von Java installiert werden müssen, wozu allerdings das Administrator-Passwort von Nöten gewesen wäre. Deshalb wurde beschlossen, auf den anderen Lernpfad auszuweichen.

Die Schülerinnen und Schüler erhielten einen Zettel mit der Webadresse sowie dem Arbeitsauftrag. Der Zettel sollte auch für Notizen, die bei Arbeitsaufträgen des Lernpfads zu machen sind, verwendet werden. Dieser Zettel wurde am Ende der Einheit eingesammelt, um anhand der Notizen zu analysieren, ob die wichtigen Informationen erkannt worden sind.

Während der Einheit wurden von mir keine Fragen seitens der Schülerinnen und Schüler bezüglich der Lernpfade beantwortet. Es sollte herausgefunden werden, ob sie alleine mit dem Lernmaterial zurechtkommen. Nach der Pause wurden in der darauffolgenden Unterrichtseinheit anschließend in Zweier- bis Vierergruppen Interviews mit den Schülerinnen und Schülern durchgeführt.

7. Klasse:

In der ersten Einheit waren nur zehn Schülerinnen und Schüler anwesend, weshalb auch hier beschlossen wurde, dass alle die Lernmaterialien ausprobieren sollten. Wie sich herausstellte war auf den PCs im EDV-Raum nicht die aktuellste Version von Java installiert, wodurch es nicht möglich war, die Ableitungs-Puzzles auszutesten. Deshalb beschränkten sich die Schülerinnen und Schüler auf die übrigen Lernmaterialien. Auch in dieser Klasse wurde ein Zettel mit den Webadressen und Arbeitsaufträgen ausgeteilt. Während der Einheit wurden wiederum keine Fragen bezüglich der Lernmaterialien beantwortet.

Um in der zweiten Einheit die Ableitungs-Puzzles ausführen zu können, arbeiteten die Schülerinnen und Schüler diesmal mit ihren eigenen Laptops. Auch dort musste bei den meisten erst die neueste Java-Version installiert werden. Nach der Installation konnten die Ableitungs-Puzzles schließlich doch noch von allen ausgeführt werden. Zur Wiederholung sollten sie auch noch einmal die restlichen Lernmaterialien durcharbeiten, um sich die Inhalte für die anschließenden Interviews wieder ins Gedächtnis zu rufen.

Die dritte Einheit wurde für die Interviews mit den Schülerinnen und Schülern verwendet. Die Einheit fand direkt im Anschluss an die zweite Unterrichtseinheit der 7. Klasse statt, da es sich um eine Supplierstunde handelte. Die Interviews wurden wiederum in Gruppen zu dritt oder zu viert durchgeführt.

13.3 Ergebnisse 5. Klasse

www.schoett-web.de

Die ersten zwei Fragen des Interviews bezogen sich auf die mathematischen Inhalte des Lernpfads. Bei den Antworten war bei den meisten Schülerinnen und Schülern erkennbar, dass sie das Richtige meinten, sie jedoch oftmals die falschen Ausdrücke verwendeten. Auf die Frage, worum es im Lernpfad gegangen war, wurde z.B. mehrmals als Antwort „*Quadratische Gleichungen*“ genannt, anstelle von „*Quadratischen Funktionen*“. Auch bei der Frage nach den Auswirkungen der Parameter auf den Graphen wurden von den Schülerinnen und Schülern sehr viele richtige Antworten gegeben. Lediglich wurde auch hier das richtige Fachvokabular kaum verwendet, sondern mit Umschreibungen gearbeitet. Anstelle von „gestaucht oder gestreckt“ wurden Ausdrücke wie „*steil oder flach*“, „*auseinander oder zusammen*“, „*wie stark die Parabel gebogen ist*“ verwendet.

Interessant war, dass der Scheitelpunkt S von vielen als „*Schnittpunkt*“ bezeichnet wurde. Mögliche Gründe dafür könnten ein zu geringes Verständnis des Begriffs Schnittpunkt oder eine Assoziation des Buchstabens „ S “ mit dem Wort Schnittpunkt sein.

Die Auswertung der Notizen auf den eingesammelten Zetteln konnte den positiven Eindruck aus den Interviews nur zum Teil bestätigen. Wie bei den Interviews arbeiteten viele mit Umschreibungen und nicht mit den mathematisch korrekten Ausdrücken. Dies ist allerdings kein allzu großes Problem, da von den Schülerinnen und Schülern nicht verlangt werden kann, nach nur einer Unterrichtseinheit zu dem neuen Themengebiet bereits über ein perfektes Fachvokabular zu verfügen. In manchen Notizen waren allerdings Fehler zu finden, die auf mögliche Verständnisprobleme deuten. Zwei Beispiele dafür sind etwa die Vertauschung der Öffnung der Parabel nach oben bzw. unten bei positivem bzw. negativem Vorzeichen des Parameters a im Funktionsterm $y = a \cdot x^2$ oder falsch notierte Funktionsgleichungen (z.B.: $y = a \cdot x2$, $y = a \cdot 2x$, $y = a \cdot (x - d)2 + e$).

Ein Grund für die falschen Funktionsgleichungen ist sicherlich die schlechte Darstellung in den Browsern der PCs im EDV-Raum gewesen. Weder die Exponenten noch die Indizes wurden korrekt hoch- bzw. tiefgestellt dargestellt. Alle Symbole wurden auf einer Höhe dargestellt, wodurch viele etwas verwirrt waren. Die Schülerinnen und Schüler in der zweiten Gruppe wurden allerdings vorab von ihren

Mitschülerinnen und Mitschülern sowie von mir über diese fehlerhafte Darstellung informiert. Aus den Notizen ist allerdings erkennbar, dass einige trotzdem Probleme hatten, die richtige Funktionsgleichung zu verwenden.

Die generelle Gestaltung des Lernpfads wurde von den Schülerinnen und Schülern durchwegs als gut empfunden. Das Design konnte das Interesse der Schülerinnen und Schüler wecken.

Wie wirkt der Lernpfad von der Gestaltung auf dich (ansprechend, motivierend, interessant, uninteressant, langweilig, Neugierde erweckend)?

„Am Anfang, das mit dem Bild, hat mir gut gefallen, damit man einfach einmal durch eine Architektur das sieht, was man da macht.“

„Es hat interessant ausgeschaut und es war auch interessant, weil man selber Dinge verstellen können hat und schauen konnte, was passiert, wenn ich es so oder so einstelle.“

„Es schaut ziemlich einfach gemacht aus, aber das ist nicht störend, weil man nicht abgelenkt wird oder so.“

Die Gliederung und Struktur des Lernpfads wurde ebenfalls positiv bewertet. Vor allem die Aufteilung der Inhalte in mehrere kleine Teile wurde als angenehm empfunden.

Wie hast du die Gliederung, die Struktur, den Aufbau der Seite empfunden?

„Ich finde, es war gut, dass es am Anfang immer so eine kleine Erklärung gab und man dann zu den Aufgaben gelangt ist und dass es am Anfang auch immer noch so ein Probebeispiel gegeben hat, das habe ich schon gut gefunden.“

„Ich habe es gut gefunden, dass nicht immer zuerst großer Teil Text und dann wieder, sondern dass immer kurzer Text, dann z.B. irgendeine Abbildung oder so und dann wieder Text.“

„Zu viel Information war nicht oben, es hat dann auch gepasst, man hat sich dann auch ausgekannt und die Schritte waren auch beschrieben, man hat gesehen, was man als nächstes tun muss.“

Ein paar Schülerinnen und Schüler hatten allerdings einige Probleme, die Links zu den Aufgaben bzw. die Schaltfläche zu „Mehr Informationen“ als solche wahrzunehmen. Es konnte auch während der Einheiten beobachtet werden, dass mehrere Schülerinnen und Schüler die Schaltfläche „Mehr Informationen“ nicht angeklickt hatten.

Hattest du Probleme/Schwierigkeiten bei der Bedienung des Lernpfads?

„Am Anfang habe ich nicht verstanden, dass man da drauf klicken muss, damit man zu den Aufgaben kommt. Ich habe geglaubt, dass die Fragen die einzigen Aufgaben sind.“

Hast du versucht, die Fragen eigenständig zu beantworten oder hast du gleich auf „Mehr Informationen“ geklickt?

„Ich hab am Anfang das ‚Mehr Informationen‘-Ding zuerst gar nicht gesehen und alles selber raus geschrieben. Danach bin ich drauf gekommen und hab es mir durchgelesen.“

„Hat man das anschauen können? – Nein, das habe ich selber gemacht, das habe ich gar nicht gelesen bzw. gesehen, dass das da ist.“

„Das habe ich gar nicht gesehen.“

Die Bedienung der Applets war für fast alle klar, nur ganz wenige brauchten etwas Zeit bis sie sich zurechtfinden. Dieser Eindruck wurde auch durch die Antworten der Schülerinnen und Schüler gedeckt. Für sie war vor allem die gute Bedienungsanleitung in der Angabe ausschlaggebend. Einige gaben allerdings zu, dass sie zuerst das Applet ausprobiert hatten, bevor sie den Arbeitsauftrag lasen.

Wie ist es dir mit der Bedienung der Applets gegangen?

„Ja, wenn man die Angabe gelesen hat, dann hat man gewusst, wie es funktioniert.“ (auf Nachfragen gibt die Schülerin zu, zuerst einmal probiert zu haben, ohne die Beschreibung zu lesen)

„Es ist eigentlich eh immer dort gestanden, was man bewegen kann, es war eigentlich ziemlich einfach.“

„Ja, es ist eigentlich eh in den Sätzen drinnen gestanden, wie die Bedienung funktioniert.“

„Am Anfang bin ich da gesessen und hab nicht gewusst, wo ich jetzt hin und her bewegen soll, weil es nicht gegangen ist und dann bin ich drauf gekommen, dass es dort unten geht, aber ich habe schon etwas Zeit gebraucht.“

„Das Programm ist sehr GeoGebra-orientiert und wenn man das Programm ein bisschen kennt, man weiß dann schon, dass man den Punkt S verschieben kann, dass der Schieberegler, wenn eh schon dort steht a , dass sich dann das a verändert.“

Die Applets wurden von allen als sehr wichtig bezeichnet. Ohne die Applets wäre es für sie schwieriger gewesen, die Auswirkungen der Parameter auf den Graphen quadratischer Funktionen nachzuvollziehen. Das deutet darauf hin, dass durch die doppelte Kodierung der Inhalte der Lernprozess positiv unterstützt wird.

Findest du, dass die Applets für dein Verständnis wichtig waren oder hättest du es auch ohne sie verstanden?

„Also ohne Applets hätte ich es nicht verstanden. Da hat man dann auch gleich gesehen, wie sich das verändert, das war gut.“

„Sie waren schon sehr wichtig, weil man hat dann selber ausprobieren können und man kann es sich einfach bildlich viel besser vorstellen, als wenn nur Text hier stehen würde.“

„Was mir vor allem sehr gut gefallen hat, dass man hier wirklich den Punkt S verschieben hat können und dass dann dabei gestanden ist, wie die Gleichung aussieht.“

„Es hilft schon, wenn man selber verschiedene Dinge einsetzen und ausprobieren kann.“

„Da kann man es sich auch gleich besser merken, wenn man es gemacht hat.“

„Ja, das ist glaube ich schon sehr wichtig, weil alleine mit dem Text kann man Sachen falsch interpretieren.“

„Ich hätte wahrscheinlich ohne sie nicht verstanden, wie man es sich ausrechnet. Auch bei den Begriffen, so hat man sofort gewusst, was eine Parabel ist.“

Die angebotenen Hilfestellungen bei „Verschiebung einer Parabel“ sowie bei den Aufgaben wurden von allen sehr positiv und hilfreich empfunden. Das ging auch bei

den Unterrichtsbeobachtungen hervor. Fast alle verwendeten zur Lösung der Aufgaben die angebotene Hilfestellung.

Inwiefern waren die angebotenen Hilfestellungen für das Lösen der Aufgaben und für die Beantwortung der Fragen hilfreich?

„Ich habe die Hilfestellungen schon gut gefunden, ansonsten hätte ich die eine oder andere Aufgabe nicht lösen können.“

„Sie waren hilfreich. Ohne sie hätte ich es wahrscheinlich schon auch geschafft, aber es hätte sicher länger gedauert.“

„Das, was man nicht selber gesehen hat, war noch einmal gut erklärt.“

Die aus Sicht der Cognitive Load Theory ungünstig gestalteten Elemente, wie die fehlende Hervorhebung wichtiger Begriffe oder das durch die Größe der Applets bedingte Hinauf- und Hinunterscrollen, wurden von den Schülerinnen und Schülern nur zum Teil als störend empfunden. Auch in den Notizen ist bei vielen zu erkennen, dass sie die wichtigsten Elemente trotzdem herauslesen konnten.

Wie ist es dir beim Lesen der Texte gegangen – hast du die neuen Begriffe sofort aus dem Text erkennen können oder hast du ihn mehrmals lesen müssen, damit du z.B. gewusst hast, dass es um Begriffe wie Normalparabel, Stauchung, Streckung geht?

„Man hat schon gut verstanden, um was es geht. Es war schon ok, beim ersten Mal durchlesen.“

„Ich finde, der Text hat es gut erklärt, aber ich habe es mir auch noch praktisch angeschaut dann.“

„Nein, ich wusste nicht immer genau, um welchen Begriff es jetzt geht.“

„Ich habe es mir schon ein paar Mal durchlesen müssen, bis ich es verstanden habe.“

Hätte es dir geholfen, wenn einzelne Begriffe hervorgehoben gewesen wären (fett gedruckte Darstellung, Unterstreichen)?

„Es wäre hilfreich gewesen, wenn sie fett geschrieben gewesen wären oder erklärt gewesen wären.“

„Eine Hervorhebung...ja, das wäre schon praktisch gewesen, weil dann liest man es sich einmal durch und beim zweiten Mal hinschauen, sieht man sofort

die wichtigen Sachen. Zumindest, dass man die Formeln heraushebt, damit man nicht suchen muss.“

„Nein, es hat so auch gepasst.“

Wie hast du die Größe der Elemente empfunden? (Schrift, Applets)

„Zu klein war es nicht. Man hat alles gut lesen können und auch die Koordinatensysteme.“

„Schriftgröße hat auf jeden Fall gepasst. Die Abbildung hätte ich nicht so groß gebraucht.“

„Es hat genau gepasst, man hat es schön lesen können.“

Teilweise musste man zwischen den Fragen und den Applets Hinauf- und Hinunterscrollen. Hat dich das gestört?

„Rauf- und Runterscrollen? – Ja, habe ich schon müssen, vor allem zwischen der Aufgabe und so, aber das war kein Problem.“

„Nein, das hat mich nicht gestört.“

„Ja, das mit dem Scrollen ist schon ein bisschen lästig, vor allem wenn man dann oben im Text auch noch etwas nachlesen wollte.“

Der Modus bei den Aufgaben sorgte ebenfalls für gespaltene Meinungen. Die einen fanden es gut, dass der Link zur nächsten Aufgabe erst angezeigt wurde, wenn die aktuelle Aufgabe richtig gelöst worden war, die anderen empfanden es eher als störend.

Wie hast du den Modus bei den Aufgaben empfunden, dass man erst zur nächsten Aufgabe gelangt, wenn die vorangegangene richtig gelöst worden ist?

„Ich glaube, das war ganz gut, weil dann muss man sich damit auseinandersetzen. Und sonst sag ich halt ‚nein, das kann ich nicht‘ und mache was anderes.“

„Wenn man es machen muss, dann denkt man sich, ja, ich überlege mir das doch jetzt einmal. Weil oft, wenn es einem nicht gleich gelingt, dann gibt man gleich auf und macht die nächste.“

„Bei den Beispielen hat man eine falsche Aufgabe nicht überspringen können, man musste immer zurück gehen. Es hat ja auch kein Menü gegeben, wo man zurück gekommen wäre, sondern man hat immer zurück klicken müssen.“

Der Fehler in der Angabe der letzten beiden Aufgaben zu Stauchung und Streckung einer Parabel hat manche Schülerinnen und Schüler kurz verwirrt. Er stellte allerdings kein großes Problem dar.

Bei den letzten beiden Aufgaben zur Stauchung und Streckung einer Parabel ist jeweils ein Fehler in der Angabe passiert. Hat dir das Probleme bereitet oder dich verwirrt?

„Ich habe es zuerst mit dem Punkt aus dem Text probiert, als ich gesehen habe, dass es falsch ist, habe ich den Punkt aus dem Koordinatensystem genommen. Also, es war jetzt nicht so schlimm.“

„Zuerst hat es mich etwas verwirrt, dass zwei verschiedene Punkte waren, aber indem die Punkte gleich heißen haben, habe ich mich an den unteren in der Abbildung gehalten.“

„Mich hat es verwirrt, ich habe noch einmal nachschauen müssen und dann ist es aber gegangen.“

Generell konnte beobachtet werden, dass sich fast alle an die vorgegebene Bearbeitungsreihenfolge des Lernpfads hielten. Nur wenige wechselten zwischen den Lektionen und Aufgaben ständig hin und her. Das Bearbeitungstempo war sehr unterschiedlich. Während die einen noch mit den Theoriefragen beschäftigt waren, bearbeiteten andere bereits die letzten Aufgaben des ersten Aufgabenblocks. Es versuchten alle, den Lernpfad selbstständig zu bewältigen. Nur selten wurde mit den Sitznachbarn kommuniziert. Das war vor allem der Fall, wenn die Schülerinnen und Schüler bei einer Aufgabe nicht weiterkamen und kurz um Rat fragten.

Interessant war eine Aussage von mehreren Schülerinnen und Schülern, die mit diesem Lernpfad gearbeitet hatten. Sie empfanden die Bearbeitung des Lernpfads nämlich nicht als Mathematikunterricht.

„Danke, dass wir kein Mathe hatten.“

wikis.zum.de

Auch bei diesem Lernpfad konnten die Schülerinnen und Schüler die Fragen, worum es gegangen war und welche Auswirkungen die Parameter der Scheitelpunktsform auf den Graphen der Parabel haben, größtenteils richtig beantworten. Da in den durchgearbeiteten Teilen des Lernpfads nur die beiden Parameter zur Verschiebung der Parabel behandelt worden waren, war das Problem mit dem falschen Fachvokabular zu Stauchung und Streckung der Parabel wie beim Lernpfad von www.schoett-web.de nicht gegeben.

„Ob die Parabel nach oben oder unten und nach links oder rechts verschoben wird.“

„Dass es auf der y-Achse verschoben wird und auf der x-Achse verschoben wird.“

Die generelle Gliederung, Struktur und Darstellungsgröße der Elemente wurde von fast allen als gut empfunden. Der Lernpfad wurde als übersichtlich bewertet. Die Gliederung der jeweiligen Inhalte in theoretische Einführung mit anschließenden Aufgaben wurde positiv gesehen. Auf die Fragen 3-5 des Fragenkatalogs, wie die generelle Gestaltung, die Gliederung, die Struktur und der Aufbau der Seite sowie die Größe der Elemente empfunden worden ist, wurden unter anderem folgende Antworten gegeben:

„Also gestaltet war er schon gut, aber ich mag Computer-Lernen nicht.“

„Ja, es war halt so, dass zuerst erklärt worden ist, wie das funktioniert. Dann waren leichtere Aufgaben und das ist dann immer schwieriger geworden und dann war es auch so, dass man es immer besser verstanden hat.“

„Es war schon übersichtlich, es war immer in Schritte unterteilt, es war gut erklärt, dann die Beispiele dazu und danach die Zusammenfassung noch.“

„Es war gut, dass die Bilder groß waren, weil dann hat man es immer gleich gesehen. Und die Schrift war normal, die konnte man ohne Probleme lesen, sie war nicht zu groß und nicht zu klein.“

„Von der Strukturierung, von der Aufteilung her, hat alles gepasst, das war gut.“

Die kleinen Zusammenfassungen am Ende der Stationen in den „Merke“-Absätzen wurden von den Schülerinnen und Schülern als sehr hilfreich und gut empfunden. Dafür ausschlaggebend war vor allem, dass dort alle wichtigen Informationen noch einmal kompakt zusammengefasst werden. Dadurch fiel es ihnen auch nicht schwer, die neuen, wichtigen Begriffe im Text zu erkennen.

Wie ist es dir mit den neuen Begriffen gegangen – hast du beim Lesen der Texte sofort gewusst, um welchen Begriff es geht oder hast du die Texte mehrmals durchlesen müssen?

„Das war praktisch mit der Zusammenfassung, weil man dort dann immer das Wichtigste auf einen Blick sieht.“

„Die ‚Merke‘-Absätze waren ziemlich praktisch, weil dann achtet man noch einmal auf das Wesentliche und man weiß auch, worauf man schauen muss, damit man keinen Fehler macht.“

Die Bedienung der Applets war für die Schülerinnen und Schüler kein Problem. Sie wussten alle, wie sie damit umzugehen hatten. Lediglich die auch in der Analyse erwähnte nicht ganz einwandfreie „Drag & Drop“-Funktion bei diversen Zuordnungsübungen sorgte bei den Schülerinnen und Schülern für Probleme.

Wie ist es dir mit der Bedienung der Applets gegangen?

„Es war nicht wirklich viel zum Checken, es war nur das zu verschieben, also dass man weiß, ob es rauf geht, oder runter, links, rechts...und das ist eh dort gestanden.“

„Ja, es ist eh in der Beschreibung gestanden. Aber ich habe dort, wo der Lückentext war, habe ich ein paar Mal mit der Maus hin und her fahren müssen, weil es nicht gehalten hat.“

„Ich habe es immer ins untere Kästchen reingezogen.“

Die Applets wurden von allen Schülerinnen und Schülern für ihr Verständnis als sehr hilfreich angesehen. Das deutet wiederum auf eine positive Auswirkung auf den Lernprozess durch eine doppelte Kodierung der Inhalte hin.

Inwiefern sind die Applets für dein Verständnis wichtig oder gar nicht wichtig gewesen?

„Sie waren schon wichtig, ohne sie hätte ich es nicht so leicht verstanden.“

„Ja, man muss schon wissen, was was ist und da ist es schon hilfreich, wenn Bilder dabei sind, so merkt man es sich auch besser.“

„Ja, da kann man es sich besser vorstellen, wenn man selber etwas herum probieren kann.“

Laut den Schülerinnen und Schülern ist der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben bzw. des Lernpfads generell richtig gewählt. Es war eine Herausforderung, aber niemand empfand eine Überforderung bei der Bearbeitung. Daraus lässt sich schließen, dass bei ihnen die kognitiven Ressourcen optimal ausgenutzt worden sind und genügend Platz für den *germane cognitive load* zur Verfügung gestanden ist.

Wie ist es dir bei der Bearbeitung der Aufgaben gegangen – insbesondere bei den Lückentexten und Zuordnungsübungen?

„Es war nicht zu schwierig und nicht zu leicht. Es war schon so, dass man ein bisschen gefordert wird, aber es war nicht so, dass man nicht weiter weiß, was jetzt kommt.“

„Ich finde, es hat gepasst. Es war schon ein bisschen eine Herausforderung, aber es war schaffbar. Das Kreuzworträtsel war ein bisschen schwierig.“

Wie hast du die Bearbeitung des Lernpfads generell empfunden?

„Man hat sich schon konzentrieren müssen, es war nicht einfach nur drüber lesen. Man hat sich konzentrieren müssen und interessant war es eigentlich schon.“

Auch bei diesem Lernpfad konnte beobachtet werden, dass sich fast alle der neun Schülerinnen und Schüler an die Bearbeitungsreihenfolge hielten. Nur eine Schülerin wechselte zwischen den Stationen. Sie begann mit dem Lösen des Kreuzworträtsels. Das Bearbeitungstempo war teilweise auch wieder sehr verschieden. Vor allem die drei Schüler waren deutlich langsamer als ihre sechs Mitschülerinnen. Die Schülerinnen und Schüler arbeiteten wieder fast ausschließlich alleine, ohne mit ihren Mitschülerinnen und Mitschülern zu kommunizieren.

13.4 Ergebnisse 7. Klasse

www.mathe-online.at

Steigungen in der Landschaft

Die Illustration wurde von den Schülerinnen und Schülern sowohl inhaltlich als auch gestalterisch als gut befunden. Der einzige Kritikpunkt betraf die Aufteilung des Textes auf die gesamte Bildschirmbreite.

Wie hast du die Gliederung, die Struktur, den Aufbau der Seite empfunden?

„Ich finde, es ist ganz gut strukturiert und man kennt sich aus, es ist auch am Bild beschrieben und man kennt sich aus. Darunter dann noch der Text, dass man es noch besser versteht.“

„Ich habe es gut gefunden, dass es zuerst so dargestellt wurde und dann erst mathematisch.“

„Von den Grafiken kann man alles gut ablesen, also man kennt sich überall gut aus.“

„Ich hätte es vielleicht etwas kleiner gemacht.“ (Dabei deutet die Schülerin auf die Breite des Textes)

„Und der Text etwas übersichtlicher, nicht alles so auf einen Haufen.“

Es war auch für niemanden ein Problem, den Text auf die Bilder zu beziehen.

Wie ist es dir dabei gegangen, den Text auf die Bilder zu beziehen?

„Das war voll einfach und wir wussten auch, wo die Elemente aus dem Text im Bild zu finden sind.“

Auch sie fanden, dass die Abbildungen wichtig für ein besseres Verständnis waren.

Waren die Abbildungen für deine gedankliche Vorstellung des Sachverhalts wichtig?

„Ich finde es gut, dass oben das noch mit den Landschaften dargestellt ist und unten dann normal, wie es wirklich aussieht als Funktion.“

„Ja, Abbildungen sind schon immer wichtig, weil man es sich viel besser vorstellen kann.“

Das große Ableitungspuzzle & Ableitungs-Puzzles 1, 2, 3

Die Aufgabenstellung der Ableitungs-Puzzles war für sehr viele Schülerinnen und Schüler beim Öffnen des Applets im Prinzip klar. Sie wussten, dass es um die Zuordnung von Graphen von Ableitungsfunktionen geht. Allerdings hatten fast alle Probleme dabei, das Feld auszufüllen. Sie wussten nicht, ob die Graphen von oben nach unten oder von links nach rechts anzuordnen waren. Dadurch wird klar, dass fast keiner auf die Schaltfläche „Aufgabe“ gedrückt hat und sich die Aufgabenstellung durchgelesen hat. Dort steht genau beschrieben, dass *„unterhalb des Graphen jeder Funktion der Graph ihrer Ableitung“* stehen muss. Auf Nachfrage gaben dann tatsächlich auch nur sehr wenige an, sich die Aufgabenstellung durchgelesen zu haben. Viele hatten sich für eine Zuordnungsrichtung entschieden und einfach ausprobiert, ob das Ergebnis stimmte oder nicht. Beim großen Ableitungspuzzle ist die Aufgabenstellung frei ersichtlich angegeben. Deshalb wurde dieses Ableitungspuzzle als besser gestaltet beurteilt.

Worum ist es gegangen? Was waren deine Aufgaben?

„Ja, ich finde es fürs Erste einmal komisch, man weiß nicht ob es runter geht oder zur Seite, weil es steht ja nirgends.“

„Ich habe am Anfang nicht gewusst, dass es von oben nach unten geht, ich habe es zunächst von links nach rechts gemacht.“

„Das große Ableitungspuzzle war schon viel leichter. Ja, da hat man gleich gewusst, wie und wohin.“

Es waren sich alle einig, dass bei den Ableitungs-Puzzles die Aufgabenstellung frei ersichtlich und nicht erst über ein neues Fenster zu öffnen sein sollte. Eine Schülerin gab an, dass auch die Beschriftung der Schaltfläche von „Aufgabe“ zu „Aufgabenstellung“ umgeändert werden sollte.

Wie findest du es, dass die Aufgabenstellung erst in einem eigenen Fenster geöffnet und gesehen werden kann?

„Ja, man könnte sie ja in einem Satz herschreiben. Dann liest man es sich vielleicht.“

„Nein, ich finde es blöd. Es liest sich fast niemand, geht irgendwo anders hin, wenn es nicht da steht.“

Die Darstellung der Graphen wurde von allen als gut bewertet. Durch die rote Farbe konnten alle Schülerinnen und Schüler die Graphen gut erkennen. Manche hätten sich eine Skalierung der Achsen wie beim großen Ableitungspuzzle auch für die anderen drei Ableitungs-Puzzles gewünscht. Das Überblicken und Vergleichen der zuzuordnenden Graphen war kein Problem. Die Schülerinnen und Schüler gaben an, dass sie alle Graphen gut überblicken konnten.

Wie hat dir die Darstellung der Graphen gefallen? (Ableitungs-Puzzles und großes Ableitungspuzzle)

„Es ist gut gemacht, das mit den roten Kurven, dass man sie gut sieht.“

„Beim großen Ableitungspuzzle war es besser, weil dort die Zahlen auch auf den Achsen dabei standen.“

Wie ist es dir beim Vergleichen der Graphen im Feld mit den noch nicht zugeordneten Graphen gegangen? Hast du alles überblicken können oder war für dich der Abstand zwischen den Graphen zu groß? Hättest du eine andere Anordnung bevorzugt? (Ableitungs-Puzzles und großes Ableitungspuzzle)

„Nein, der Abstand war sicher nicht zu groß. Es war schön beisammen, man hat nicht ‚herumfahren‘ müssen.“

„Ich habe es beim großen Ableitungspuzzle mehr mögen, weil dort die Graphen untereinander stehen. Da ist es leichter.“

Der Schwierigkeitsgrad der Puzzles wurde im Großen und Ganzen für in Ordnung gehalten. Die meisten Probleme verursachte das Ableitungs-Puzzle 2 (gebrochen rationale Funktionen und Exponentialfunktionen). Die Hinweise bei falsch zugeordneten Graphen wurden nur von wenigen wirklich beachtet und als hilfreich befunden.

Wie ist es dir bei der Lösung der Puzzles gegangen? Hast du die Graphen als Herausforderung gefunden oder war es zu leicht/zu schwierig für dich?

„Ich finde es passt, es sind nicht zu schwierige und auch nicht zu leichte Graphen.“

„Ableitungspuzzle 2 war ein bisschen schwierig.“

Bei falsch zugeordneten Graphen – inwiefern hat dir der Hinweis, der nach dem Drücken des Kontrollbuttons erscheint, geholfen? (Ableitungspuzzles)

„Ich habe mir den Text nicht durchgelesen, ich habe es einfach noch einmal probiert.“

Alles in allem fanden die meisten Schülerinnen und Schüler das große Ableitungspuzzle für übersichtlicher und besser gestaltet als die drei Ableitungspuzzles. Vom Schwierigkeitsgrad wurde auch das große Ableitungspuzzle für leichter befunden. Das Punktesystem beim großen Ableitungspuzzle wurde aber von fast niemandem als zusätzlich motivierend empfunden.

Differentialrechnung – Wendepunkte – Sachsenringkurve

Dieses interaktive Arbeitsblatt fand bei den Schülerinnen und Schülern wenig Anklang. Viele fanden es unübersichtlich und überfüllt. Es sorgte für Verwirrung, dass bereits zu Beginn alle Elemente eingeblendet waren, obwohl diese anhand des Arbeitsauftrags nach und nach erst sichtbar gemacht werden sollten.

Wie hat es dir generell gefallen?

„Ich habe es ein wenig unübersichtlich gefunden und ein bisschen komisch.“

„Es ist einfach alles auf einem und dann ist das so zusammengepackt so.“

„Das hat mich verwirrt am Anfang, weil da schon alles da war und dann bin ich runter gegangen und dann ist da gestanden, schalte jetzt das ein, aber es war schon alles eingeschaltet.“

Aus den Beobachtungen und den Interviews ging hervor, dass niemand die Pausetaste am linken unteren Eck zum Anhalten der Animation des Applets gefunden hatte.

Die Größe des Applets wurde ebenfalls kritisiert. Das durch die Größe verursachte Hinauf- und Hinunterscrollen zwischen Applet und Arbeitsauftrag wurde als störend empfunden. Einige schlugen als Verbesserung vor, das Applet kleiner zu dimensionieren und den Arbeitsauftrag seitlich daneben abzubilden. Dadurch könnten sowohl Applet als auch Auftrag gleichzeitig überblickt werden.

Hat dich das Hinauf- und Hinunterscrollen zwischen Applet und Arbeitsauftrag gestört?

„Ja, das hat genervt, weil da muss man immer rauf und runter.“

„Da musst du immer rauf und runter und dann vergisst man es wieder.“

Die unübersichtliche Darstellung des Arbeitsauftrags bzw. des Fazits zum Schluss wurde nur von wenigen als störend empfunden. Der inhaltliche Aufbau des Arbeitsblatts wurde von allen Schülerinnen und Schülern gut und logisch nachvollziehbar gefunden. Dabei wurde vor allem die schrittweise Vorgehensweise

gelobt. Beim Fazit wurde bemängelt, dass die Bedeutung mancher Begriffe bzw. der Abkürzung VZW für viele Schülerinnen und Schüler unbekannt war.

Wie hast du die Gliederung, die Struktur, den Aufbau der Seite empfunden?

„Der Text ist schon ganz gut übersichtlich und so, da habe ich mich schon überall ausgekannt.“

„Aber so die Arbeitsaufgaben sind gut gegliedert, weil man mit so Grundsachen anfängt und dann aufbaut auf dem.“

„Die Darstellung so hat schon gepasst.“

Hast du gewusst, was alle Begriffe bzw. Abkürzungen (z.B. VZW) bedeuten?

„Beim Fazit waren ein paar Sachen dabei, also Begriffe, die wir nicht gemacht haben.“

„VZW - Nein, keine Ahnung was das bedeuten soll.“

13.5 Resümee

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass sich die Analyseergebnisse durchaus in den Aussagen und Einschätzungen der Schülerinnen und Schüler widerspiegeln. Es gibt allerdings auch Aspekte in den Lernmaterialien, die sich in der Praxis für manche Schülerinnen und Schüler als wenig oder gar nicht störend erwiesen haben, obwohl diese laut den vorgestellten Theorien nicht optimal gestaltet worden sind.

Allerdings sollten die oben vorgestellten Einschätzungen der Schülerinnen und Schüler nicht überbewertet und mit Vorsicht betrachtet werden. Um die Aussagekraft ihrer Meinungen zu den Lernmaterialien zu steigern, wäre es notwendig, dass sie mehrere verschiedene Materialien kennenlernen. Dadurch würden sie auf unterschiedliche Möglichkeiten der Gestaltung aufmerksam gemacht werden. Sie würden vielleicht erkennen, welche Gestaltungsmerkmale sich positiv und welche sich negativ auf ihren Lernprozess auswirken. Möglicherweise würden die Schülerinnen und Schüler danach auf die Interviewfragen anders antworten.

Neben diesem Aspekt müsste auch die konkrete Durchführung der Untersuchung verändert werden, um aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen. Die Lernenden müssten während der Bearbeitung der Lernmaterialien einzeln beobachtet und anschließend auch einzeln interviewt werden. Dies war im Rahmen dieser Diplomarbeit allerdings nicht möglich und wäre vor allem während der Unterrichtszeiten nicht durchführbar gewesen.

Es darf außerdem nicht übersehen werden, dass lediglich eine kleine Anzahl von Schülerinnen und Schülern mit dem jeweiligen Lernmaterial gearbeitet hat. Für eine größere Aussagekraft müsste daher die Anzahl der Untersuchungsteilnehmerinnen und -teilnehmer vergrößert werden.

Rückblickend betrachtet hat sich auch die Auswahl der Interviewfragen als nicht ganz optimal herausgestellt. Manche Fragen wurden von den Schülerinnen und Schülern anders aufgefasst, als gewünscht war. Hier wäre es sicherlich vorteilhaft gewesen, die Fragen in Probeinterviews auszutesten und anzupassen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Darstellung und die Repräsentation der Lerninhalte den Lernprozess erleichtern, aber auch unnötig erschweren können. Deshalb sollte es für Autoren von Lernmaterialien für das Internet selbstverständlich sein, sich neben den fachlichen Inhalten auch mit den Gestaltungsprinzipien zur Reduktion der kognitiven Beanspruchung zu befassen. Im Internet gibt es Unmengen an Lernmaterialien, von denen manche besser und manche schlechter gestaltet worden sind. Bei einem Einsatz im Unterricht ist daher vor allem die Lehrkraft gefordert, ein möglichst gutes Lernmaterial auszuwählen, das sowohl inhaltlich, als auch von der Gestaltung her betrachtet, die Lerninhalte bestmöglich vermittelt. Bei Lernpfaden spielt bei der Auswahl auch die angestrebte didaktische Methode eine Rolle. Sollen die Lerninhalte von den Schülerinnen und Schülern eigenständig entdeckt und nachvollzogen werden, so sollte die Auswahl nicht auf rein behavioristisch-basierte Lernpfade fallen.

Abschließend ist nochmals zu erwähnen, dass im 21. Jahrhundert auch, oder insbesondere, in der Schule auf den Einsatz des Computers nicht verzichtet werden darf. Das Fach Mathematik bietet viele Einsatzmöglichkeiten, wodurch auch Vorteile gegenüber anderen Unterrichtsmethoden entstehen können. Diese Vorteile können aber nur dann zum Tragen kommen, wenn mit gut gestalteten und inhaltlich gut konzipierten Lernmaterialien gearbeitet wird.

14. Literaturverzeichnis

Ableitinger, C. (2013). *VO-Mitschrift Schulmathematik 3 (Angewandte Mathematik) SoSe 2013*. Fakultät für Mathematik, Universität Wien.

Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers and Education*, 33, S. 131-152.

Aue, V., Frebort, M., Hohenwarter, M., Liebscher, M., Sattlberger, E., Schirmer, I., Siller, H.-S. (Leitung), Vormayr, G., Weiß, M., Willau, E. (2013). *Die standardisierte schriftliche Reifeprüfung in Mathematik. Inhaltliche und organisatorische Grundlagen zur Sicherung mathematischer Grundkompetenzen (Stand: März 2013)*.

Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens (BIFIE).

Blum, W. (1985). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der didaktischen Diskussion. *Mathematische Semesterberichte* (32), S. 195-232.

Brünken, R., Seufert, T., Zander, S. (2005). Förderung der Kohärenzbildung beim Lernen mit multiplen Repräsentationen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19 (1/2), S. 61-75.

Elschenbroich, H. (2009). Mit dem Computer anschaulich beweisen. Beweisen mit visuell-dynamischen Puzzles. *Mathematik lehren*, 155, S.58-61.

Embacher, F. (2004). Lernpfade – Wege zu selbstgesteuertem Lernen. *Vortrag gehalten auf der 9. Internationalen Tagung über Schulmathematik, Alternative Wege in Unterricht und Leistungsbeurteilung, Technische Universität Wien, 26. 2. 2004*. Paper online: <http://www.mathe-online.at/literatur.html> [abgerufen: 10.09.2014]

Kerres, M. (2002). Bunter, besser, billiger? Zum Mehrwert digitaler Medien in der Bildung. *it+ti – Informationstechnik und Technische Informatik, Sonderheft: Internet und neue Medien in der Aus- und Weiterbildung*, 44, S. 187-192.

Kerres, M. (2013). *Mediendidaktik, Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote*. 4. Auflage. München: Oldenbourg Verlag.

Kroop, S. (2013). *Vorlesungsskript Computerunterstütztes Lernen SoSe 2013*. Fakultät für Informatik, Universität Wien.

Mayer, R., Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning, *Educational Psychologist*, 38:1, S. 43-52.

Pinkernell, G. (2011). Dynamische Vorstellungsbilder aufbauen, *Mathematik Lehren*, 167, S. 42-43.

Roth, J. (2014). Lernpfade – Ein gangbarer Weg zur sinnvollen Nutzung digitaler Werkzeuge im Mathematikunterricht?!. Erscheint in: Kortenkamp, U., Lambert, A. (Hrsg.): *Verfügbare Digitale Werkzeuge im Mathematikunterricht richtig nutzen. Bericht über die 29. Arbeitstagung des Arbeitskreises "Mathematikunterricht und Informatik" in der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik e. V. vom 23. bis 25. September 2011 in Soest*. Hildesheim: Verlag Franzbecker.

Roth, J., Wiesner, H. (2014). Lernpfade – Ein Weg zur selbstständigen und sinnvollen Nutzung von digitalen Werkzeugen durch Schüler/innen. In: Roth, J., Ames, J. (Hrsg.): *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014* (Band 2, S. 1003-1006). Münster: WTM-Verlag.

Rummer, R., Schweppe, J., Scheiter, K., Gerjets, P. (2008). Lernen mit Multimedia – Die kognitiven Grundlagen des Modalitätseffekts. *Psychologische Rundschau*, 59 (2), S. 98-107.

Ruppert, M., Wörler, J. (2013). *Technologien im Mathematikunterricht – Eine Sammlung von Trends und Ideen*. Wiesbaden: Springer Spektrum

Sadoski, M., McTigue, E., Paivio, A. (2012). A Dual Coding Theoretical Model of Decoding in Reading: Subsuming the Laberge and Samuels Model, *Reading Psychology*, 33:5, S. 465-496.

Seufert, T., Brünken, R., Leutner, D. (2007). *Psychologische Grundlagen des Lernens mit neuen Medien*. Rostock: Universitätszentrum für Qualitätssicherung im Studium und Weiterbildung.

Schnotz, W., Rasch, T. (2005). Enabling, Facilitating, and Inhibiting Effects of Animations in Multimedia Learning: Why Reduction of Cognitive Load Can Have Negative Results on Learning. *Educational Technology Research and Development*, 53 (3), S. 47-58.

Schreiner, C., Salchegger, S., Suchań, B. (Hrsg.) (2014). *PISA 2012: Internationaler Vergleich von Schülerleistungen. Problemlösen, Mathematik und Lesen im elektronischen Zeitalter*, Salzburg, Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens (BIFIE).

15. Internetressourcen

[Beh] Lernpsychologie. Lernen und Gedächtnis – einfach erklärt. Behaviorismus. Im Internet: <http://www.lernpsychologie.net/lerntheorien/behaviorismus>, gesehen am 22.07.2014

[Java 7] Galileo Press <openbooks>. Java 7 – Mehr als eine Insel. Im Internet: <http://openbook.galileo-press.de/java7/>, gesehen am 24.09.2014

[Kog] Lernpsychologie. Lernen und Gedächtnis – einfach erklärt. Kognitivismus. Im Internet: <http://www.lernpsychologie.net/lerntheorien/kognitivismus>, gesehen am 22.07.2014

[Kon] Lernpsychologie. Lernen und Gedächtnis – einfach erklärt. Konstruktivismus. Im Internet: <http://www.lernpsychologie.net/lerntheorien/konstruktivismus>, gesehen am 28.04.2014.

[LP] Lehrplan Mathematik AHS-Oberstufe. Im Internet: http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11859/lp_neu_ahs_07.pdf, gesehen am 16.04.2014.

[mo] <http://www.mathe-online.at/einfuehrung.html>, gesehen am 08.07.2014

[mp] <http://www.matheprisma.de/Inhalt/Infos/InfAbl.htm>, gesehen am 08.07.2014

[selfhtml] http://de.selfhtml.org/html/multimedia/java_applets.htm, gesehen am 24.09.2014

Internetadressen der Lernmaterialien

[mo_Land] *Steigungen in der Landschaft*

http://www.mathe-online.at/mathint/diff1/i_Landschaft.html

[mo_Abl1] *Ableitungs-Puzzle 1*

http://www.mathe-online.at/mathint/diff1/applet_b_ablpuzzle1.html

[mo_Abl2] *Ableitungs-Puzzle 2*

http://www.mathe-online.at/mathint/diff1/applet_b_ablpuzzle2.html

[mo_Abl3] *Ableitungs-Puzzle 3*

http://www.mathe-online.at/mathint/diff1/applet_b_ablpuzzle3.html

[mo_GrAbl] *Das große Ableitungspuzzle*

<http://www.mathe-online.at/tests/diff1/ablerkennen.html>

[geotube] *Differentialrechnung – Wendepunkte – Sachsenringkurve*

<http://tube.geogebra.org/student/m8224>

[mprisma] *Ableitung – So wird man zum Blitz-Ableiter von Funktionen*

<http://www.matheprisma.de/Module/Ableitung/index.htm>

[schoett] *Lernpfad: Quadratische Funktionen*

http://www.schoett-web.de/mathematik/quadratische_funktionen/1/index.html

[zum] *Quadratische Funktionen – Lernpfad*

[http://wikis.zum.de/dmuw/Lernpfade/Quadratische Funktionen](http://wikis.zum.de/dmuw/Lernpfade/Quadratische_Funktionen)

[roth] *Parabeln – Graphen quadratischer Funktionen*

<http://www.juergen-roth.de/dynama/AKGeoGebra/parabel/index.html>

16. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lernen als Verhaltensänderung (Kroop 2013, S. 4)	14
Abbildung 2: Das Prinzip der Programmierten Unterweisung (Kroop 2013, S. 15).....	16
Abbildung 3: Intelligente tutorielle Systeme (Kerres 2013, S. 140)	19
Abbildung 4: Lernen als Informationsverarbeitung (Seufert et al. 2007, S.25)	25
Abbildung 5: Das Dreispeichermodell von Atkinson und Shiffrin (Seufert et al. 2007, S.25) ..	25
Abbildung 6: Die kognitive Theorie des multimedialen Lernens von Richard E. Mayer (Rummer et al. 2008, S.100).....	31
Abbildung 7: modifizierte Version von Mayers Modell (Rummer et al. 2008, S.105)	33
Abbildung 8: Anteile der jeweiligen Aspekte von cognitive load je nach Eigenschaft der Lernumgebung (Seufert et al. 2007, S.39).....	39
Abbildung 9: Steigungen in der Landschaft ([mo_Land])	55
Abbildung 10: Mathematisches Modell ([mo_Land]).....	56
Abbildung 11: Ableitungs-Puzzles 1, 2, 3 ([mo_Abl1], [mo_Abl2], [mo_Abl3]).....	60
Abbildung 12: Das große Ableitungspuzzle ([mo_GrAbl])	64
Abbildung 13: GeoGebra-Applet ([geotube])	69
Abbildung 14: Arbeitsauftrag und Fazit ([geotube])	70
Abbildung 15: Bestimmung der Momentanrichtung des Skaters ([mprisma])	76
Abbildung 16: Übersetzung in ein mathematisches Modell ([mprisma])	77
Abbildung 17: Definition und Übungsaufgabe ([mprisma])	78
Abbildung 18: Veränderung der Steigung der Tangente ([mprisma]).....	79
Abbildung 19: Applet zur Visualisierung von Stauchung und Streckung einer Parabel ([schoett]).....	87
Abbildung 20: Interaktives Arbeitsblatt ([zum])	96
Abbildung 21: Aufgabe 1 ([zum]).....	97
Abbildung 22: Auflistung der wichtigen Erkenntnisse in einem „Merke“-Absatz ([zum]).....	98
Abbildung 23: Aufbau der Seiten ([roth])	106
Abbildung 24: Applet Seite 1 ([roth])	107
Abbildung 25: Applet Seite 2 ([roth])	108
Abbildung 26: Applet Seite 3 ([roth])	108
Abbildung 27: Applet Seite 4 ([roth])	109
Abbildung 28: Applet Seite 6 ([roth])	109

Anhang

Fragenkatalog www.schoett-web.de

1. Worum ist es gegangen? Was hast du neu gelernt?
2. Wie wirken sich die Veränderungen der einzelnen Parameter auf den Graphen der Normalparabel aus?
3. Wie hat der Lernpfad von der Gestaltung her auf dich gewirkt (ansprechend, motivierend, interessant, uninteressant, langweilig, Neugierde erweckend)?
4. Wie hast du die Gliederung, die Struktur, den Aufbau der Seite empfunden?
5. Wie hast du die Größe der Elemente empfunden? (Schrift, Applets, Aufteilung am Bildschirm)
6. Hattest du Probleme/Schwierigkeiten bei der Bedienung des Lernpfads?
7. Wie ist es dir beim Lesen der Texte gegangen – hast du die neuen Begriffe sofort aus dem Text erkennen können oder hast du ihn mehrmals lesen müssen, damit du z.B. gewusst hast, dass es um Begriffe wie Normalparabel, Stauchung, Streckung geht?
8. Wie ist es dir mit der Bedienung der Applets gegangen?
9. Findest du, dass die Applets für dein Verständnis wichtig waren oder hättest du es auch ohne sie verstanden?
10. Hast du versucht, die Fragen eigenständig zu beantworten oder hast du gleich auf „Mehr Informationen“ geklickt?
11. Inwiefern waren die angebotenen Hilfestellungen für das Lösen der Aufgaben und für die Beantwortung der Fragen hilfreich?
12. Wie hast du den Modus bei den Aufgaben empfunden, dass man erst zur nächsten Aufgabe gelangt, wenn die vorangegangene richtig gelöst worden ist?
13. Wie ist es dir bei der Bearbeitung der Aufgaben gegangen? Hattest du wo Probleme oder Schwierigkeiten?
14. Bei den letzten beiden Aufgaben zur Stauchung und Streckung einer Parabel ist jeweils ein Fehler in der Angabe passiert. Hat dir das Probleme bereitet oder dich verwirrt?

Fragenkatalog wikis.zum.de

1. Worum ist es gegangen? Was hast du neu gelernt?
2. Wie wirken sich die Veränderungen der einzelnen Parameter auf den Graphen der Normalparabel aus?
3. Wie hat der Lernpfad von der Gestaltung her auf dich gewirkt(ansprechend, motivierend, interessant, uninteressant, langweilig, Neugierde erweckend)?
4. Wie hast du die Gliederung, die Struktur, den Aufbau der Seite empfunden?
5. Wie hast du die Größe der Elemente empfunden? (Schrift, Applets, Aufteilung am Bildschirm)
6. Hattest du Probleme/Schwierigkeiten bei der Bedienung des Lernpfads?
7. Wie ist es dir mit den neuen Begriffen gegangen – hast du beim Lesen der Texte sofort gewusst, um welchen Begriff es geht oder hast du die Texte mehrmals durchlesen müssen?
8. Waren die Arbeitsaufträge klar für dich? Wusstest du, was du tun solltest?
9. Wie ist es dir mit der Bedienung der Applets gegangen?
10. Wie ist es dir bei der Bearbeitung der Aufgaben gegangen – insbesondere bei den Lückentexten und Zuordnungsübungen?
11. Inwiefern sind die Applets für dein Verständnis wichtig oder gar nicht wichtig gewesen?
12. Hattest du Probleme, einzelne Wörter zu verstehen oder war der Text in einer für dich leicht verständlichen Sprache geschrieben?
13. Wie hast du die Bearbeitung des Lernpfads generell empfunden?

Fragenkatalog www.mathe-online.at

Steigungen in der Landschaft

1. Wie hast du die Gliederung, die Struktur, den Aufbau der Seite empfunden?
2. Wie ist es dir dabei gegangen, den Text auf die Bilder zu beziehen?
3. Waren die Abbildungen für deine gedankliche Vorstellung des Sachverhalts wichtig?

Das große Ableitungspuzzle & Ableitungs-Puzzles 1, 2, 3

1. Worum ist es gegangen? Was waren deine Aufgaben?
2. Wie hat das Applet auf dich gewirkt (Motivierend, interessant, eher langweilig, uninteressant) bzw. generell, wie hat es dir gefallen?
3. Was bewirken die einzelnen Buttons – Aufgabe, Kontrolle, Lösung, Reset?
4. Hattest du wo Schwierigkeiten/Probleme bei der Bearbeitung bzw. hast du dich generell mit dem Applet zurechtgefunden?
5. War dir sofort klar, was du zu tun hast bzw. hast du dir zu Beginn die Aufgabenstellung durchgelesen oder hast du zunächst einfach einmal herumgespielt und herumprobiert?
6. Wie findest du es, dass die Aufgabenstellung erst in einem eigenen Fenster geöffnet und gesehen werden kann?
7. Wie ist es dir beim Vergleichen der Graphen im Feld mit den noch nicht zugeordneten Graphen gegangen? Hast du alles überblicken können oder war für dich der Abstand zwischen den Graphen zu groß? Hättest du eine andere Anordnung bevorzugt? (Puzzles und großes Ableitungspuzzle)
8. Wie hat dir die Darstellung der Graphen gefallen? (Puzzles und großes Ableitungspuzzle)
9. Bei falsch zugeordneten Graphen – inwiefern hat dir der Hinweis, der nach dem Drücken des Kontrollbuttons erscheint, geholfen?
10. Wie ist es dir bei der Lösung der Puzzles gegangen? Hast du die Graphen als Herausforderung gefunden oder war es zu leicht/zu schwierig für dich?
11. Hast du beim großen Ableitungspuzzle die Bewertung durch Punkte als motivierend empfunden?

Fragenkatalog tube.geogebra.org

1. Wie hat es dir generell gefallen?
2. Hast du alles ausgeblendet, um die Arbeitsaufträge wirklich durchführen zu können?
3. Wie lange hast du gebraucht, bis du die Pause-Taste links unten entdeckt hast, um das Applet anzuhalten?
4. Hat dich das Hinauf- und Hinunterscrollen zwischen Applet und Arbeitsauftrag gestört?
5. Wie hast du die Gliederung, die Struktur, den Aufbau der Seite empfunden?
6. Hast du gewusst, was alle Begriffe bzw. Abkürzungen (z.B. VZW) bedeuten?

Abstract

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Qualitätsanalyse von Lernmaterialien aus dem Internet zu den Themen „Differentialrechnung“ und „Quadratische Funktionen“. Ausgewählte Materialien, wie Applets oder Lernpfade, werden anhand ausgearbeiteter Kriterien hinsichtlich ihrer Gestaltung und ihres mathematischen Inhalts analysiert.

Zu Beginn werden eine Standortbestimmung sowie eine Definition der Begriffe Lernpfad und Applet durchgeführt. Im nächsten Teil wird der Frage nach der Legitimation des Computereinsatzes im Mathematikunterricht nachgegangen. Im Anschluss werden die theoretischen Grundlagen für die Qualitätsanalyse der Lernmaterialien erarbeitet. Diese Grundlagen umfassen unter anderem die drei klassischen Lerntheorien, Informationsverarbeitungsprozesse beim Lernen sowie die Cognitive Load Theory. Anhand dieser theoretischen Elemente werden Kriterien für die Analyse der Lernmaterialien abgeleitet. Den Hauptteil der Diplomarbeit bildet die Qualitätsanalyse von Lernmaterialien aus sechs verschiedenen Internetressourcen. Den Abschluss bildet die Darstellung der Ergebnisse einer durchgeführten Untersuchung in einer Schule. Ziel dieser Untersuchung war es, herauszufinden, ob sich die Ergebnisse der Analyse im Verhalten und in den Einschätzungen der Schülerinnen und Schüler widerspiegeln, nachdem sie eine Unterrichtseinheit mit einem der analysierten Lernmaterialien gearbeitet hatten.

Lebenslauf

Florian Reischl

Ausbildung

1996-2000	Volksschule Peilstein
2000-2008	BRG Rohrbach
2008-2009	Präsenzdienst in Hörsching
2009-2014	Studium an der Universität Wien UF Mathematik, UF Informatik und Informatikmanagement