

---

# **Forschend-begründendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht**

**Wege zu einer naturwissenschaftlichen Grundbildung  
am Übergang Primar/Sekundarstufe am Beispiel von  
Unterrichtsmaterialien zum Thema Fotosynthese**

---

**Dissertation**

**zur Erlangung des Doktorgrades der Geisteswissenschaft  
an der Fakultät für Bildungswissenschaften  
der Universität Innsbruck**

**eingereicht von**

**Mag. Christian Bertsch**

**Innsbruck, Juni 2008**

## **Betreuung**

Ao.Univ.Prof. Dr. Ulrike Unterbruner  
Interfakultärer Fachbereich Fachdidaktik - LehrerInnenbildung  
Universität Salzburg

Univ.Prof. Dr. Michael Schratz  
Institut für LehrerInnenbildung und Schulforschung  
Universität Innsbruck

Dr. Suzanne Kapelari  
Institut für Botanik  
Universität Innsbruck

**danke**

Elisabeth Kathrein, Helene Trojer, Andreas Klingler, Susanne Auer sowie ihren SchülerInnen im Schuljahr 2006/2007 für die Offenheit und Selbstverständlichkeit, mit der sie mich an ihrem Unterricht teilhaben ließen, für ihr Engagement und ihre Begeisterung beim Testen der Unterrichtsmaterialien

Ulrike Unterbruner für ihre herzliche Art der Betreuung und konstruktives Feedback

Suzanne Kapelari für die Möglichkeit, im Rahmen des EU Projektes Plant Science Gardens wichtige persönliche und wissenschaftliche Erfahrungen zu sammeln

Michael Schratz für sein Interesse an transdisziplinärer fachdidaktischer Forschung

Sabine Sladky-Meraner, Verena Pfenniger, Bettina Moschitz, Walter Koll, Barbara Amalthof, Ferdinand Treml und Johann Kamml für ihre Mitarbeit und kritisches Feedback in der nationalen Arbeitsgruppe

Sue Johnson, Gwyneth Marsh, Gail Bromley, Michaela Kischke, Constantino Bonomi, Sara Campegiani, Krassimir Kossev, Vera Grancharova, Ljuba Petkova und Ognyan Iliev für den internationalen Ideenaustausch und die vielen netten Gespräche während den Treffen der internationalen Arbeitsgruppe

Anja Christanell für ihre Unterstützung in allen Bereichen. Für jedes Lachen, jede Träne, jede Berührung und jeden Kuss. Für jedes Aufwachen und Schlafengehen. Für jede Minute, die wir intensiv leben

Meinem Freundeskreis für die vielen Ablenkungen vom wissenschaftlichen Arbeiten

Meinen Eltern und meinen Geschwistern für ihre Unterstützung während meines gesamten Studiums

Dem IMST Fonds für die finanzielle Unterstützung der Arbeit an der Dissertation

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Forschungsstand .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Scientific Literacy.....</b>	<b>10</b>
2.1.1	Was ist scientific literacy?.....	11
2.1.2	Scientific literacy und kompetenzorientierter naturwissenschaftlicher Unterricht .....	15
2.1.3	Kompetenzen, die durch die erstellten Unterrichtsmaterialien gefördert werden .....	17
2.1.3.1	Sachkompetenz .....	17
2.1.3.2	Methodenkompetenz und kognitive Kompetenz .....	19
2.1.3.3	Epistemologische Kompetenz .....	19
2.1.4	Bedeutung für die eigene Forschung .....	21
<b>2.2</b>	<b>Interesse und Einstellungen .....</b>	<b>22</b>
2.2.1	Interesse als Konstrukt .....	22
2.2.2	Interessengenese .....	23
2.2.3	Unterricht und Interessengenese .....	24
2.2.4	Bedeutung für die eigene Forschung .....	25
<b>3</b>	<b>Ausgangslage.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Naturwissenschaftliche Themen im Sachunterricht .....</b>	<b>26</b>
3.1.1	Erfahrungs- und Lernbereich Technik .....	26
3.1.1.1	Der Lehrplan .....	26
3.1.1.2	Die Unterrichtspraxis .....	26
3.1.2	Erfahrungs- und Lernbereich Natur .....	27
3.1.2.1	Der Lehrplan .....	27
3.1.2.2	Die Unterrichtspraxis .....	27
3.1.3	Naturwissenschaftliche Grundbildung im Sachunterricht.....	27
3.1.3.1	Der Lehrplan .....	27
3.1.3.2	Die Schulbücher .....	28
<b>4</b>	<b>Entwicklung der Unterrichtsmaterialien .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Organisatorische Rahmenbedingungen.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>Konzeptuelle Rahmenbedingungen .....</b>	<b>33</b>
4.2.1	Lernen in der Schule .....	33
4.2.1.1	Theoretischer Hintergrund.....	33
4.2.1.2	Von der Theorie zur Praxis.....	36
4.2.2	Lernen im Botanischen Garten.....	40
4.2.2.1	Theoretischer Hintergrund.....	40
4.2.2.2	Von der Theorie zur Praxis.....	43
<b>4.3</b>	<b>Überblick über die erstellten Unterrichtsmaterialien .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4</b>	<b>Verwendete methodische Ansätze .....</b>	<b>56</b>
4.4.1	Forschend-entwickelndes Lernen.....	56
4.4.2	Historisch-genetisches Lernen .....	59
4.4.3	Konkurrierende Theorien .....	59
4.4.3.1	Vorhersagen – Beobachten – Erklären .....	60
4.4.3.2	Concept Cartoons.....	60
4.4.4	Concept mapping .....	61
4.4.4.1	Evidence Mapping .....	62
4.4.5	Begründungen aufschreiben .....	63
4.4.6	Zwei Dinge, die ich heute herausgefunden habe .....	63

4.4.7	Gruppenarbeit.....	64
4.4.8	Reflexion der Ergebnisse und der Prozesse .....	64
<b>4.5</b>	<b>Entwicklung der Unterrichtsmaterialien - Zusammenfassung .....</b>	<b>65</b>
<b>5</b>	<b>Evaluation der Unterrichtsmaterialien .....</b>	<b>67</b>
<b>5.1</b>	<b>Forschungsleitende Fragen .....</b>	<b>67</b>
5.1.1	Interesse und Einstellungen .....	67
5.1.2	Sachkompetenz.....	68
5.1.3	Methodenkompetenz .....	68
5.1.4	Kognitive Kompetenz.....	68
5.1.5	Epistemologische Kompetenz .....	69
<b>5.2</b>	<b>Sample.....</b>	<b>70</b>
5.2.1	SchülerInnen.....	70
5.2.1.1	Gruppeneinteilung .....	71
5.2.2	LehrerInnen .....	73
<b>5.3</b>	<b>Methoden der Datenerhebung und Datenanalyse .....</b>	<b>73</b>
5.3.1	Datenerhebung .....	73
5.3.1.1	Fragebögen .....	73
5.3.1.2	Semi-strukturierte Interviews mit SchülerInnen.....	77
5.3.1.3	Semi-strukturierte Interviews mit LehrerInnen.....	79
5.3.1.4	Teilnehmende Beobachtung.....	80
5.3.1.5	Forschungstagebuch .....	80
5.3.1.6	Projektstagebuch der LehrerInnen .....	81
5.3.1.7	Evidence mapping .....	81
5.3.2	Datenverwaltung.....	81
5.3.3	Datenanalyse.....	81
5.3.3.1	Analyse der quantitativen Daten.....	81
5.3.3.2	Analyse der qualitativen Daten.....	82
5.3.3.2.1	Grounded Theory.....	83
5.3.3.2.2	Inhaltsanalyse .....	87
5.3.3.2.3	Computerunterstützte Qualitative Datenanalyse mit atlas.ti .....	87
5.3.3.3	Analyse der evidence maps .....	88
5.3.4	Zusammenfassung der verwendeten Methoden zur Datenerhebung und Datenanalyse in Bezug auf die Forschungsfragen.....	89
<b>5.4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>90</b>
5.4.1	Interesse und Einstellungen .....	90
5.4.1.1	Genderspezifische Interessensunterschiede .....	93
5.4.1.2	Einfluss des durchgeführten Projektunterrichts auf das Interesse der SchülerInnen .....	95
5.4.2	Sachkompetenz.....	100
5.4.2.1	SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese vor dem Projektunterricht. 100	100
5.4.2.1.1	SchülerInnenvorstellungen zum Thema Luft .....	100
5.4.2.1.2	SchülerInnenvorstellungen zum Thema Pflanzenwachstum .....	102
5.4.2.2	SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese nach dem Projektunterricht .....	109
5.4.2.2.1	SchülerInnenvorstellungen zum Thema Luft .....	109
5.4.2.2.2	SchülerInnenvorstellungen zum Thema Pflanzenwachstum .....	111
5.4.2.3	Nach Leistung differenzierte Analyse einiger Daten .....	122
5.4.3	Methodenkompetenz und kognitive Kompetenz .....	127
5.4.3.1	Beispiel für eine forschend-begründende Lehr-Lerneinheit .....	127
5.4.3.2	Verwendete Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens.....	132
5.4.3.3	Verständnis der SchülerInnen von ausgewählten Prozessmerkmalen wissenschaftlichen Arbeitens .....	143
5.4.4	Epistemologische Kompetenz .....	147
5.4.4.1	Ergebnisse der Analyse der <i>evidence maps</i> .....	147
5.4.4.2	Ergebnisse der Theorie-Evidenz-Interviews.....	150

<b>5.5</b>	<b>Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf die forschungsleitenden Fragen.....</b>	<b>157</b>
5.5.1	Interesse und Einstellungen .....	157
5.5.2	Sachkompetenz .....	158
5.5.3	Methodenkompetenz .....	160
5.5.4	Kognitive Kompetenz.....	160
5.5.5	Epistemologische Kompetenz .....	161
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>163</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>167</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>178</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>182</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>183</b>
<b>10.1</b>	<b>Fragebögen .....</b>	<b>183</b>
10.1.1	Prätest .....	183
10.1.2	Posttest und Posttest 2 (ident) .....	188
<b>10.2</b>	<b>Stimuli für Diskussionen .....</b>	<b>194</b>
10.2.1	Concept Cartoon zu Bedeutung der Blätter für Pflanzenwachstum.....	194
10.2.2	Zeichnung zu Baumwachstum innerhalb von 5 Jahren .....	195
<b>10.3</b>	<b>Leitfragen für die LehrerInnen zum Erstellen des Projektstagebuchs .....</b>	<b>196</b>
<b>10.4</b>	<b>Unterrichtsmaterialien .....</b>	<b>197</b>

# 1 Einleitung

Willkommen im 21. Jahrhundert. Die Wissensgesellschaft hat die Industriegesellschaft abgelöst. Wissen und Bildung sind, so heißt es, die wichtigsten Ressourcen im rohstoffarmen Europa. Dieser Satz beflügelt BildungspolitikerInnen<sup>1</sup> und PädagogInnen, UniversitätsreformerInnen und EU-Kommissare. Doch Wissen – und insbesondere naturwissenschaftliches Wissen – ist auch abseits der BildungsexpertInnenengremien en vogue.

Die Debatte um eine – naturwissenschaftlich orientierte – Eliteuniversität, die angeblich mangelnde Qualität der Schulen (PISA/TIMSS) und Universitäten werden nicht nur in ExpertInnen- und Zukunftskommissionen diskutiert sondern auch auf den Titelseiten der heimischen Printmedien und an den dorfeigenen Stammtischen. Im Fernsehen boomen Wissenschaftssendungen. Kinderunis, JungforscherInnentage und lange Nächte der Wissenschaft und Forschung werden inszeniert.

Dennoch nimmt das Interesse junger Menschen, insbesondere junger Frauen, an den Naturwissenschaften stetig ab (OECD 2006). Als einen Grund dafür identifizierten die OECD-Experten das Fehlen positiver Erfahrungen mit Naturwissenschaften im Grundschulalter, da eben diese positiven Erfahrungen die zukünftige Studienwahl nachhaltig beeinflussen. Somit scheint es nur eine Frage der Zeit zu sein, bis die naturwissenschaftliche Grundausbildung in der Volksschule in die öffentliche Diskussion vordringt. Einstweilen wird sie in Reformkommissionen diskutiert.

Die naturwissenschaftliche Grundbildung in der Volksschule scheint ein besonders schwieriges Terrain zu sein. Nationale (Pokorny 2003, Schradt 2005) und internationale Berichte (OECD 2006, Osborne 1996, Harlen 1997) über die Problemlagen gleichen sich. Die meisten LehrerInnen verfügen über ein zu geringes naturwissenschaftliches Basiswissen. Naturwissenschaftliche Themen, insbesondere physikalische und chemische, seien verschwindend klein im Unterricht vertreten. Der Unterricht fördere Faktenwissen anstelle grundlegender Einsichten in naturwissenschaftliche Konzepte und Arbeitsweisen. Der besonders ab dem elften Lebensjahr eklatant werdende Interessensverlust an naturwissenschaftlichen Sachverhalten würde schon in der Volksschule angelegt.

Doch nicht erst in der so genannten Wissensgesellschaft steht der naturwissenschaftliche Unterricht in Volksschulen in der Kritik. Bereits in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde der Heimatkundeunterricht durch den Sachunterricht abgelöst, da dieser besser geeignet sei, um auf die Anforderungen der damaligen Industriegesellschaft vorzubereiten (Marquardt-Mau 2001). Ob der heutige Sachunterricht in Österreich den Anforderungen der Wissensgesellschaft entspricht, ist fraglich und soll in der vorliegenden Arbeit diskutiert werden.

Anders als in Österreich oder Deutschland wird in den USA und England der naturwissenschaftliche Bildungsauftrag in der Primarstufe in einem eigenen Fach *science* wahrgenommen. Um auf die oben genannten Defizite des naturwissenschaftlichen Unterrichtes in der Primarstufe einzugehen und auf die neuen Anforderungen der Wissensgesellschaft zu reagieren, wurden in diesen Ländern umfangreiche Reformen der naturwissenschaftlichen Grundausbildung durchgeführt.

---

<sup>1</sup> Die Texte in dieser Dissertation sind nach dem Leitfaden des österreichischen Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Kultur (bm:bwk 2007) geschlechtergerecht formuliert. Von den verschiedenen Strategien, die gewählt werden können, um Männer und Frauen im Text sichtbar zu machen, habe ich die Variante mit dem großen I gewählt (z.B. SchülerInnen, LehrerInnen).

Das omnipräsente Schlagwort dieser Reformen heißt *scientific literacy*<sup>2</sup> (Abd-el-Khalick 2004). Mit der entlehnten Metapher der *literacy* verbindet sich die Idee, naturwissenschaftlichen Kenntnissen den Status einer Kulturtechnik zu verleihen, die ähnlich wie Schreiben, Rechnen und Lesen für eine erfolgreiche Teilnahme am modernen Leben unumgänglich ist. Ziel der Reformen ist es, den SchülerInnen ein Verständnis über das Wesen der Naturwissenschaften zu vermitteln. Dabei geht es aber nicht nur darum, den SchülerInnen die Fähigkeit zu selbständigem naturwissenschaftlichen Forschen zu vermitteln, sondern ein Verständnis für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn per se, um in einer Wissensgesellschaft kritisch an der gesellschaftlichen Diskussion teilnehmen zu können und sachkundige Entscheidungen zu treffen. Das Bildungsideal der Aufklärung nach einer selbstbestimmten Teilnahme am öffentlichen Leben inkludiert in einer Wissensgesellschaft ein Basisverständnis über das Wesen und die Methoden des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnes. Ohne dieses Basiswissen ist eine kritische Teilnahme an gesellschaftspolitischen Diskussionen wie etwa zu gentechnisch veränderten Lebensmitteln, Stammzellenforschung, Klimawandel oder nuklearer Energie nicht möglich.

Eng gekoppelt an den Terminus *scientific literacy* ist der Terminus *inquiry*, der mit selbständigem Erforschen/Entdecken übersetzt werden kann. Durch selbständiges Erforschen soll den SchülerInnen die Möglichkeit gegeben werden, den Prozess des naturwissenschaftlichen Wissenserwerbs nachzuvollziehen. Die Kinder sollen lernen, wissenschaftliche Fragen zu stellen, Vorhersagen zu treffen und diese mit Argumenten zu untermauern und selbständig einfache Untersuchungen zum Beantworten der Fragen zu entwickeln und durchzuführen.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Gedanke der *scientific literacy* aufgegriffen und im Rahmen des EU Projektes Plant Science Gardens (P7170-018-011; Projektleitung Dr. Suzanne Kapelari, Institut für Botanik, Universität Innsbruck) wurden in enger Zusammenarbeit des Botanischen Gartens, Volksschulen und der Pädagogischen Hochschule in Innsbruck forschend-begründende Unterrichtsmaterialien zum Thema Fotosynthese entwickelt, getestet, evaluiert und in der VolksschullehrerInnenausbildung implementiert.

Forschend-begründend bezieht sich dabei auf die Tatsache, dass neben dem selbständigen Experimentieren besonders die kognitive Kompetenz, von einem Experiment oder einer Beobachtung auf eine Erklärung für einen bestimmten Sachverhalt zu schließen, weiterentwickelt werden soll. Selbständiges Experimentieren soll dabei nicht auf der Ebene manueller Arbeitstechniken stehen bleiben, sondern es soll Denkprozesse anregen und zu Erklärungen von Seiten der Lernenden führen. Auf *Hands-on* Phasen folgen auch immer von *Minds-on* Phasen, da sonst kaum eigene kognitive Prozesse stattfinden und letztendlich ein falsches Bild von wissenschaftlichem Arbeiten vermittelt wird.

Ziel der Unterrichtsmaterialien ist es, dass die SchülerInnen durch selbständiges Planen, Durchführen und Evaluieren einfacher Experimente und einer anschließenden Reflexion der Ergebnisse und der zu diesen Ergebnissen führenden Prozesse nicht nur ein Verständnis für das Konzept Fotosynthese/Pflanzenwachstum entwickeln, sondern auch Einblicke in den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn gewinnen.

---

<sup>2</sup> Der Begriff *scientific literacy* entzieht sich einer wörtlichen Übersetzung. Zudem lassen sich im angelsächsischen Raum unterschiedliche theoretische Konzeptionen und Ansätze mit diesem Begriff verbinden. Einigendes Ziel dieser Ansätze ist das Schaffen einer soliden naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung, um den Anforderungen einer Gesellschaft im 21. Jahrhundert gerecht werden zu können (Marquard-Mau 2001).

In der vorliegenden Arbeit werden die Überlegungen die zur Entwicklung der Unterrichtsmaterialien geführt haben und die Prozesse und Ergebnisse der Evaluation der Unterrichtsmaterialien beschrieben.

Nach der Einleitung folgt in Kapitel 2 eine überblicksartige Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes zu *scientific literacy* und seiner Bedeutung für den Sachunterricht. In diesem Zusammenhang wird auch der Begriff Kompetenz diskutiert und beschrieben, welche Kompetenzen durch die erstellten Unterrichtsmaterialien gefördert werden sollen. Zusätzlich wird der aktuelle Forschungsstandes zu Interessen und Einstellungen diskutiert.

In Kapitel 3 wird die derzeitige Stellung des naturwissenschaftlichen Unterrichtes an Österreichs Volksschulen dargestellt.

In Kapitel 4 werden die theoretischen Grundlagen, auf denen die Unterrichtsmaterialien basieren, wiedergegeben und die erstellten Unterrichtsmaterialien und die verwendeten Methoden überblicksartig beschrieben.

In Kapitel 5 werden die Methoden und Ergebnisse der Evaluation der Unterrichtsmaterialien dargestellt. Es wird aufgezeigt, welche Auswirkungen der durchgeführte Unterricht auf das Interesse der SchülerInnen an naturwissenschaftlichem Arbeiten hat und welche Kompetenzen durch die Verwendung der Unterrichtsmaterialien gefördert werden. In diesem Kapitel sind auch auszugsweise Interviewtranskripte zu lesen. Bei diesen Transkripten ist der Interviewer als „I“ ausgewiesen, die Interviewten, in diesem Fall die Kinder, mit „K“.

In Kapitel 6 folgt eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse meiner Arbeit.

Ein Ziel fachdidaktischer Forschung ist es, basierend auf wissenschaftlichen Studien Vorschläge für eine Verbesserung unterrichtlicher Tätigkeiten zu generieren. Damit diese Vorschläge von LehrerInnen auch angenommen werden, ist es notwendig, die bestehende Kluft zwischen lerntheoretischer oder fachdidaktischer Forschung und der täglichen Unterrichtspraxis zu überwinden. Der offensichtlichste Ansatz zum Überwinden dieser Kluft zwischen Theorie und Praxis ist eine engere Zusammenarbeit und verstärkte Kommunikation zwischen TheoretikerInnen und PraktikerInnen. Ich hatte im Rahmen des Plant Science Gardens Projektes die Möglichkeit, mich intensiv mit fachdidaktischer Forschung und verschiedenen lerntheoretischen Ansätzen auseinanderzusetzen. Gleichzeitig lernte ich durch die im Rahmen des Projektes verwirklichte enge Zusammenarbeit mit den VolksschullehrerInnen auch deren Perspektiven kennen. Die intensiven Diskussionen mit FachdidaktikerInnen und die vielen Gespräche mit den am Projekt beteiligten LehrerInnen waren nicht nur wichtig für die Entwicklung und Evaluation der forschend-begründenden Unterrichtsmaterialien sondern auch für meine persönliche Entwicklung als Fachdidaktiker und Lehrer.

## 2 Forschungsstand

### 2.1 Scientific Literacy

Die Bedeutung einer naturwissenschaftlichen Grundausbildung in einer von empirischen Erkenntnissen geprägten Gesellschaft liegt auf der Hand und es herrscht Übereinstimmung, dass unsere Gesellschaft - unabhängig von vorhandenen kulturellen Unterschieden - naturwissenschaftlich gebildete BürgerInnen braucht (Gräber et al. 2002). In den letzten Jahren hat sich auch im deutschsprachigen Raum der Terminus *scientific literacy* durchgesetzt, um der Forderung nach einem breiten öffentlichen Verständnis der Naturwissenschaften einen Namen zu geben. Fischer (1998) begründet die Forderung nach naturwissenschaftlich gebildeten SchülerInnen wie folgt:

- Moderne Industrie- oder Wissensgesellschaften benötigen naturwissenschaftlich und technologisch gebildete Arbeitskräfte, um in einem globalen Markt konkurrieren zu können.
- Individuen einer Wissensgesellschaft benötigen ein grundlegendes Wissen über Naturwissenschaft und Technik, um als KonsumentInnen effektiv handeln zu können (individuelle Entscheidungsfreiheit z.B. in Bezug auf Gesundheit, Energieverbrauch, Transport,...).
- Naturwissenschaftliche Theorien sind bedeutende kulturelle Errungenschaften einer aufgeklärten Gesellschaft gegen Mystizismus und Obskurantismus. Deshalb ist das Verstehen naturwissenschaftlich-aufklärerischer Ideen unabdingbarer Bestandteil der individuellen Entwicklung zu einem modernen Lebensstil.
- BürgerInnen müssen in der Lage sein, gesellschaftliche Probleme naturwissenschaftlichen Inhalts zu verstehen, um an Diskussionen und demokratischen Entscheidungsprozessen teilhaben zu können.

Vergleichbar fasst Millar (1996) drei Antworten auf die Frage, warum ein allgemeines Verständnis der Naturwissenschaft gefördert werden sollte, wie folgt zusammen:

- Weil es in alltäglichen Kontexten hilfreich und nützlich ist.
- Weil es für die Teilnahme an öffentlichen Debatten über strittige, naturwissenschaftsbezogene Themen benötigt wird.
- Weil die Naturwissenschaften wesentliche Errungenschaften unserer Kultur sind.

Die Diskussion um die Wichtigkeit einer naturwissenschaftlich gebildeten Öffentlichkeit basiert einerseits auf einer prognostizierten verstärkten Nachfrage an naturwissenschaftlich gebildeten Arbeitskräften, andererseits auf den aufklärerischen Idealen nach einer selbstbestimmten Teilnahme am öffentlichen Leben.

Viele Reformen, die momentan in der EU unternommen werden, um die naturwissenschaftliche Bildung in und auch außerhalb der Schule zu verbessern, wurzeln in dem wirtschaftlichen Argument, dass die EU in Zukunft mehr naturwissenschaftlich gebildete junge Menschen benötigt, um in einem globalen Markt konkurrieren zu können. Eines der Lissabon Ziele ist ja bekanntlich, dass die EU bis 2010 weltweit die wirtschaftlich konkurrenzfähigste Wissensgesellschaft sein soll und das gesteigerte Interesse an einer naturwissenschaftlichen Grundbildung fußt hauptsächlich auf Berichten wie „*Europe needs more scientists*“ (Europäische Kommission 2004) oder „*Evolution of student interest in science and technology studies*“ (OECD 2006), die über eine erhöhte

Nachfrage an NaturwissenschaftlerInnen bei gleichzeitig abnehmendem Interesse an naturwissenschaftlichen Studien berichten.

Obwohl ich das gesteigerte Interesse an einer naturwissenschaftlichen Grundbildung positiv bewerte, halte ich es für problematisch, dass sich die Diskussion um eine Verbesserung des naturwissenschaftlichen Unterrichtes hauptsächlich aus der prognostizierten erhöhten Nachfrage an zukünftigen NaturwissenschaftlerInnen speist. Das Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichtes sollte es meiner Meinung nämlich nicht sein, jene Minderheit an SchülerInnen, die nach der Schule ein naturwissenschaftliches Studium wählen, auf eben dieses vorzubereiten. Vielmehr sollte es ein Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichtes sein, möglichst vielen SchülerInnen ein breites Verständnis über die wichtigsten Konzepte der Naturwissenschaften und besonders über die naturwissenschaftliche Arbeits- und Denkweise zu vermitteln. Dieses Verständnis befähigt sie nämlich, kritisch populärwissenschaftliche Artikel zu lesen und zu verstehen und an gesellschaftspolitischen Debatten zu aktuellen naturwissenschaftlichen Themen wie Klimawandel oder Klonen teilzunehmen. Dieses Wissen befähigt sie auch, die Fülle an Informationen, die in der Wissens- und Informationsgesellschaft täglich auf uns einströmen, kritisch zu hinterfragen und persönliche Meinungen von wissenschaftlichen Fakten zu unterscheiden.

Wie auch immer argumentiert wird, scheint es jedoch keinen Zweifel daran zu geben, dass ein gewisses Maß an *scientific literacy* für Individuen in einer Wissensgesellschaft notwendig oder zumindest sehr hilfreich ist.

### **2.1.1 Was ist scientific literacy?**

Der Terminus *scientific literacy* wurde erstmals in der Mitte des 20. Jahrhunderts verwendet, um dem Wunsch nach einem breiten öffentlichen Verständnis der wissenschaftlichen Arbeitsweisen einen Namen zu geben (De Boer 2000). Obwohl sich die *science education community* einig ist, dass *scientific literacy* ein vorrangiges Ziel der naturwissenschaftlichen Grundausbildung ist, gibt es bis heute keine allgemein akzeptierte Definition, was genau darunter zu verstehen ist. An dieser Stelle sollen exemplarisch einige Definitionsversuche vorgestellt werden.

Laut den amerikanischen *National Science Education Standards* (National Research Council 1996) bedeutet *scientific literacy*

*„... that a person can ask, and, or determine answers to questions derived from curiosity about everyday experiences. It means that a person has the ability to describe, explain, and predict natural phenomena. Scientific literacy entails being able to read with understanding articles about science in the popular press and to engage in social conversation about the validity of the conclusions. Scientific literacy implies that a person can identify scientific issues underlying national and local decisions and express positions that are scientifically and technologically informed. A literate citizen should be able to evaluate the quality of scientific information on the basis of its source and the methods used to generate it. Scientific literacy also implies the capacity to pose and evaluate arguments based on evidence and to apply conclusions from such arguments appropriately.“*

In dieser Definition zeigt sich bereits eindrucksvoll, warum es bis heute nicht gelungen ist, dem Konzept *scientific literacy* allgemeine Akzeptanz unter den NaturwissenschaftslehrerInnen zu verschaffen, obwohl es laut NaturwissenschaftsdidakterInnen das vorrangige Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichtes ist. *Scientific literacy* ist ein sehr weit gefasstes Konzept, welches die verschiedensten Ziele, die seit der Einführung des naturwissenschaftlichen Unterrichtes an

den Schulen am Anfang des 20. Jahrhunderts an eben diesen gestellt wurden, subsumiert.

Roger Bybee (2002) bezweifelt in seiner Konzeption zu *scientific literacy*, dass jeder Mensch eine umfassende *scientific literacy* erreichen kann, sprich alle oben aufgeführten Bereiche umfassend verstehen kann. Er unterteilt in seinem Modell *scientific literacy* in unterschiedliche Stufen, die einzelne Individuen im Laufe ihres Lebens durchlaufen können. Die Stufen reichen von *nominaler scientific literacy*, bei der Begriffe oder Themen dem Bereich der Naturwissenschaften zugeordnet werden können bis zu einer *multidimensionalen scientific literacy*, bei der Konzepte und Methoden der Naturwissenschaften und die Bedeutung der Naturwissenschaften für das eigene Leben und die gesellschaftliche Entwicklung verstanden werden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Dimensionen von *scientific literacy* (Bybee 2002)

Dimensionen	Charakteristika der einzelnen Dimensionen
<i>Nominale scientific literacy</i>	<p>Identifiziert Begriffe und Fragen als naturwissenschaftlich, jedoch falsches Verständnis über Themen, Probleme, Informationen und Wissen in den Naturwissenschaften</p> <p>Falsche Vorstellung von naturwissenschaftlichen Konzepten und Prozessen</p> <p>Unzureichende Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene</p> <p>Aktuelle Äußerungen zur Naturwissenschaft sind naiv</p>
<i>Funktionale scientific literacy</i>	<p>Verwendet naturwissenschaftliches Vokabular</p> <p>Definiert naturwissenschaftliche Begriffe korrekt</p> <p>Lernt technische Ausdrücke auswendig</p>
<i>Konzeptionelle und prozedurale scientific literacy</i>	<p>Versteht Konzepte der Naturwissenschaft</p> <p>Versteht prozedurales Wissen und Fertigkeiten der Naturwissenschaft</p> <p>Versteht Beziehungen zwischen den einzelnen Teilen einer naturwissenschaftlichen Disziplin</p> <p>Versteht grundlegende Prozesse und Prinzipien der Naturwissenschaften</p>
<i>Multidimensionale scientific literacy</i>	<p>Versteht die Besonderheiten der Naturwissenschaft</p> <p>Unterscheidet Naturwissenschaft von anderen Disziplinen</p>

---

Kennt Geschichte und Wesen der naturwissenschaftlichen Disziplinen

Begreift Naturwissenschaften in ihrem sozialen Kontext

---

Bybee (2002) geht also nicht davon aus, dass *scientific literacy* eine Eigenschaft ist, die man besitzt oder nicht besitzt, sondern dass es vielmehr einen Fortschritt gibt bzw. geben kann von wenig entwickelter oder nominaler *scientific literacy* bis hin zu einer umfassenden oder multidimensionalen *scientific literacy*.

Die Diskussion über eine naturwissenschaftliche Grundausbildung wurde nicht zuletzt auch durch die in vielen Industriestaaten wenig zufriedenstellenden PISA und TIMMS Ergebnisse forciert. Die *Expert Group* der PISA Studie (OECD 2006) bietet eine weniger ausschweifende und pragmatischere Definition des Begriffs *scientific literacy*:

*„Scientific literacy is the capacity to use scientific knowledge, to identify questions and to draw evidence based conclusions in order to understand and help make decisions about the natural world and the changes made to it through human activity.“*

In diesem Statement sind wesentliche Aspekte einer naturwissenschaftlichen Grundbildung in einem Satz zusammengefasst worden. Laut dieser den PISA Studien zugrundeliegenden Definition ist *scientific literacy* also weder ein Kennen naturwissenschaftlicher Inhalte (*scientific knowledge*) noch ein Wissen über die naturwissenschaftlichen Methoden oder Prozesse, sondern vielmehr ein Verständnis über den Zusammenhang zwischen den Inhalten und den Prozessen, die diese Inhalte generieren.

Unter *scientific knowledge* versteht PISA viel mehr als das Kennen naturwissenschaftlicher Fakten. *Scientific knowledge* beinhaltet auch, wissenschaftliche Prozesse, die Spezifität der Naturwissenschaften und auch die Grenzen der Naturwissenschaften zu kennen, um jene Fragen identifizieren zu können, die naturwissenschaftlich beantwortet werden können (*to identify questions*). Aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen (*to draw evidence based conclusions*) bedeutet, die Gültigkeit von Daten kritisch zu hinterfragen und eben diese Daten auch evaluieren zu können. Aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen bedeutet aber auch zu erkennen, dass manchmal nicht genug Information vorliegt, um eine definitive Schlussfolgerung zu ziehen und dass deshalb manche Schlussfolgerungen spekulativ sind. Laut PISA befähigt ein naturwissenschaftliches Grundverständnis, Entscheidungen zu verstehen oder zu treffen, die unsere natürliche Umwelt betreffen (*to understand and help make decisions about the natural world and the changes made to it through human activity*).

Ähnlich wie Bybee (2002) kategorisiert die PISA Expertenkommission (OECD 2006) *scientific literacy* nicht als Dichotomie, die entweder vorhanden ist oder nicht. Vielmehr ist auch den PISA Experten bewusst, dass eine Entwicklung von wenig bis umfassend *scientific literate* vollzogen werden kann. Die PISA Testaufgaben sind so konzeptioniert, dass, um per PISA Definition *scientific literate* zu sein, ein Naturwissenschaftsverständnis vorhanden sein muss, das in etwa Bybee's dritter Stufe (*konzeptionelle* und *prozedurale scientific literacy*) entspricht.

Diese ausgewählten Definitionen zeigen bereits das Hauptproblem des Konzeptes der *scientific literacy*. Die Definitionen sind sehr weit gefächert und inkludieren die verschiedensten Anliegen, die in den letzten 100 Jahren an den naturwissenschaftlichen Unterricht gestellt wurden. Gerade diese alles inkludierenden Definitionen des Konzeptes

haben dazu geführt, dass das Konzept noch keine generelle Akzeptanz erfahren hat (Bybee 1997) und von einigen AutorInnen in Frage gestellt wurde und wird.

Am heftigsten kritisiert wird der Begriff *scientific literacy* von Morris Shamos (1995, 2002). In seinem 1995 erschienenen Buch „*The Myth of Scientific Literacy*“ (Shamos 1995) spricht er sich vehement dafür aus, den Begriff *scientific literacy* und seine umfassenden Definitionen als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts fallen zu lassen, da dieses Ziel durch den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Schule nicht zu erreichen sei. Um seine Forderung zu unterstreichen, beschreibt er die historische Entwicklung der Einführung der Naturwissenschaften in den Unterricht allgemeinbildender Schulen in den USA. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts steckte der naturwissenschaftliche Unterricht in den USA – wie auch in den anderen entwickelten Nationen – in den Kinderschuhen und die NaturwissenschaftsdidaktikerInnen und BildungsreformerInnen mussten um eine angemessene Rolle der Naturwissenschaften im Bildungssystem kämpfen. Damals propagierte John Dewey die Beschäftigung mit den Naturwissenschaften, da diese bei den SchülerInnen die Fähigkeit zu kritischem Denken fördere (Shamos 1995). Dewey war überzeugt, dass eine Beschäftigung mit Naturwissenschaften das logische Denken, die Fähigkeit zu angemessenen Fragestellungen und quantitativen Analysen und das Vertrauen auf stichhaltige Beweise fördere. Dewey's Ziel war eine von rationalem Verhalten geleitete Gesellschaft und die naturwissenschaftliche Bildung sah er als ein geeignetes Mittel, dieses Ziel zu erreichen. Auch Shamos vertritt dieses Ziel, ist jedoch überzeugt, dass unser derzeitiger naturwissenschaftlicher Unterricht nicht zu diesem Ziel führt und auch nicht das Konzept der *scientific literacy* mit ihren ausufernden Definitionen. Shamos (2002) plädiert dafür, sich von der Vorstellung einer umfassenden naturwissenschaftlichen Bildung für alle zu verabschieden, da diese nicht zu erreichen sei und sich in den Lehrplänen stattdessen auf die Methoden und Prozesse der Naturwissenschaft zu konzentrieren, um den Lernenden wenigstens ein Gefühl für das Wesen der Naturwissenschaft zu vermitteln.

Während Shamos diese alles inkludierenden Definitionen heftig kritisiert, schlägt DeBoer (2000) vor, die Chancen, die eine breit gefächerte Definition bietet, zu nützen, indem jede Lehrerin und jeder Lehrer jene Ziele aus dieser Definition auswählt, die sich ihrer oder seiner Meinung nach am besten im eigenen Unterricht umsetzen lassen.

*“...instead of defining scientific literacy in terms of specifically prescribed learning outcomes, scientific literacy should be conceptualized broadly enough for local school districts and individual classroom teachers to pursue the goals that are most suitable for their particular situations along with the content and methodologies that are most appropriate for them and their students. This would do more to enhance the public's understanding and appreciation of science than will current efforts that are too narrowly aimed at increasing scores on international tests of science knowledge. A broad and open-ended approach to scientific literacy would free teachers and students to develop a wide variety of innovative responses to the call for an increased understanding of science for all.”*

Ebenso mannigfaltig wie die Definitionen von *scientific literacy*, sind die Vorschläge wie *scientific literacy* erreicht werden soll. Es herrscht jedoch Einigkeit, dass *scientific literacy* nur durch eine Abkehr von einem reinen Wissenserwerbsunterricht, bei dem wissenschaftliche Konzepte den hauptsächlich passiven SchülerInnen fragmentiert Stück für Stück „verabreicht“ werden, erreicht werden kann. Stattdessen soll der naturwissenschaftliche Unterricht Probleme aus dem Alltag der Kinder und Jugendlichen aufgreifen und verstärkt die Möglichkeit zum selbständigen Forschen bieten (Rocard et al. 2007). Selbständiges Forschen beschränkt sich dabei nicht nur auf selbständiges Experimentieren. Ebenso wichtig wie das selbständige Experimentieren, ist das Diskutieren verschiedener Lösungen, das Suchen solider Informationen, das folgerichtige

und auf Basis eigener Beobachtungen oder gesammelter Informationen basierende Argumentieren oder das Stellen von Fragen, die naturwissenschaftlich beantwortet werden können.

### 2.1.2 Scientific literacy und kompetenzorientierter naturwissenschaftlicher Unterricht

*“Science has been taught too much as an accumulation of ready-made facts with which students are to be made familiar, not enough as a method of thinking” (Dewey 1910)*

Was John Dewey 1910 über die Situation des naturwissenschaftlichen Unterrichts in den Schulen der USA schrieb, hat sich seither nicht allzu sehr verändert. Noch immer steht das Vermitteln von Fakten im Vordergrund, der naturwissenschaftliche Unterricht ist ein „Wissenserwerbsunterricht“ (Baumert 1997).

Naturwissenschaftliche Bildung geht weit über die bloße Beherrschung des Sachwissens hinaus. Deshalb darf sich der Unterricht in der Schule und Ausbildung – und auch in informellen Bildungseinrichtungen wie ein Botanischer Garten – nicht darauf beschränken, reproduzierbares Faktenwissen zu vermitteln. Wenn die SchülerInnen mittels Unterricht zu verantwortungsbewusstem Handeln und Denken in der Gesellschaft befähigt werden sollen, müssen anstelle von Faktenwissen verstärkt Handlungskompetenzen gefördert werden. In einer so genannten „Wissensgesellschaft“ bedeutet verantwortungsbewusstes Handeln und Denken, dass nicht nur naturwissenschaftliche Sachverhalte, sondern auch naturwissenschaftliche Methoden und Arbeitsweisen verstanden werden.

Im deutschsprachigen Raum ist die Diskussion zu *scientific literacy* eng mit dem Begriff Kompetenz verbunden. In den Jahren 1996 und 1998 wurde am IPN (Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften) in Kiel auf zwei Symposien der internationale Diskussionsstand aufgearbeitet und versucht, ausgehend von einer eigenen Definition von *scientific literacy*, an der Umsetzung des theoretischen Konstrukts für die Praxis zu arbeiten.

Für Gräber, Nentwig und Nicolson (2002) ist *scientific literacy* die Schnittmenge verschiedener Kompetenzen, die sie in den drei Domänen **Wissen**, **Handeln** und **Bewerten** organisieren (Abbildung 1). Der Erwerb der jeweiligen Kompetenzen sollte das Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts sein.

#### - Wissen

Unverzichtbar ist für Gräber, Nentwig und Nicolson (2002) der Erwerb inhaltlicher **Sachkompetenz**. Diese Sachkompetenz kann sich fachgebunden an den Disziplinen Biologie, Physik oder Chemie orientieren aber auch fächerübergreifend erarbeitet werden. Diese Sachkompetenz wird in der „Tiefe gestaffelt sein“ und vom Beherrschen von Fachbegriffen oder grundlegender Fakten bis hin zu einem konzeptuellen Verständnis naturwissenschaftlicher Zusammenhänge reichen.

Neben dem Wissen um die Sache selbst gehört zur naturwissenschaftlichen Bildung die Kenntnis davon, wie dieses Wissen erzeugt wird, welche Fragen mit naturwissenschaftlichen Methoden bearbeitet werden können und welche nicht, und dass auch die vermeintliche Objektivität dieses Wissens durch außerwissenschaftliche Einflüsse (z.B. ökonomische Interessen) relativiert sein kann (Gräber, Nentwig und Nicolson 2002). Diese Kompetenz fassen die Autoren als **epistemologische oder wissenschaftstheoretische Kompetenz** zusammen und subsumieren darunter auch die „Wege zum Wissen“.

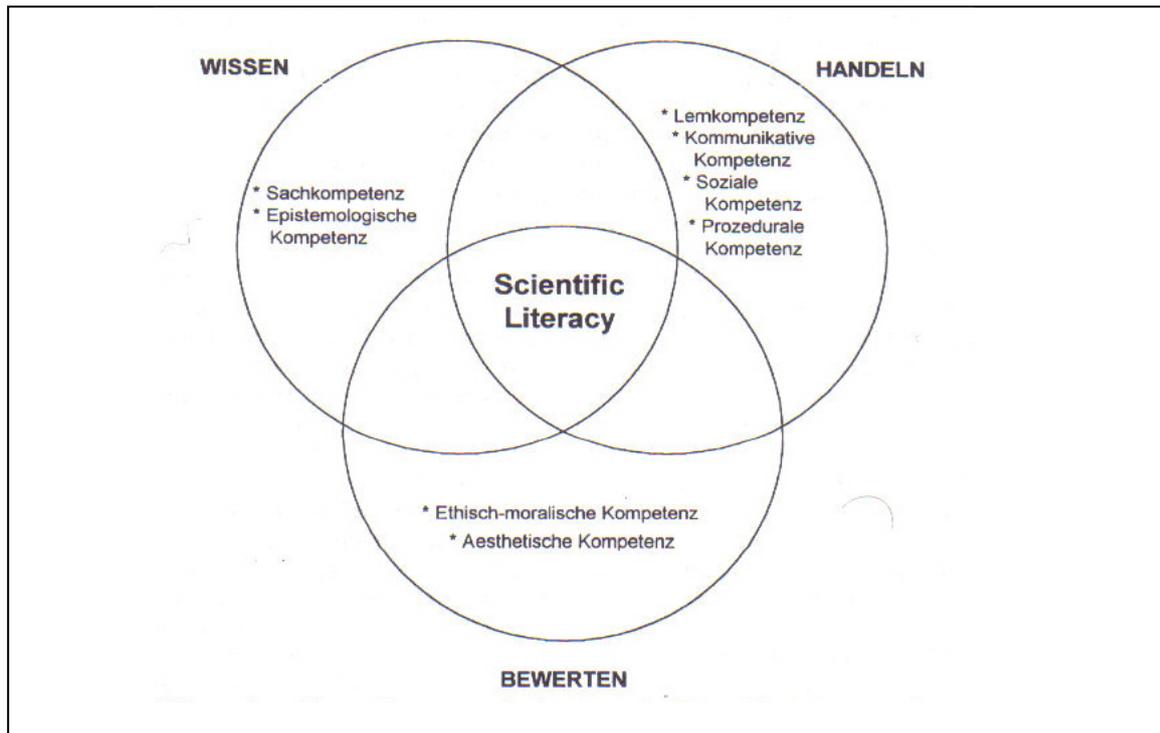


Abbildung 1: Konzept der *scientific literacy* nach Gräber, Nentwig und Nicolson 2002.

### - Handeln

Menschliches Wissen ist für die Autoren untrennbar mit menschlichem Handeln verknüpft. Bereits der Erwerb des Wissens ist nicht ohne Handeln denkbar. Lernen – und besonders das organisierte Lernen in der Schule – geschieht geordnet und nach bestimmten zu beherrschenden Strategien. Die Beherrschung dieser Strategien bezeichnen die Autoren als **Lernkompetenz**. Diese Lernkompetenz ist für jede Art von Bildung erforderlich, jedoch finden sich domänenspezifisch unterschiedliche Ausprägungen. Ein Gedicht interpretieren zu lernen erfordert eine andere Lernkompetenz als die Gesetzmäßigkeiten des Stromkreises zu durchdringen.

Lernen findet fast immer im sozialen Kontext statt. Deshalb ist für erfolgreiches Lernen und die Anwendung des Gelernten auch meistens eine **soziale Kompetenz** notwendig.

Soll die erworbene Bildung nicht solipsistisch und damit häufig wirkungslos beim Individuum bleiben, bedarf es einer **kommunikativen Kompetenz**, um das erworbene Wissen mit anderen zu teilen und auszutauschen.

Unter **prozeduraler Kompetenz** verstehen Gräber, Nentwig und Nicolson (2002) die Fähigkeit, sich Informationen zu beschaffen, zu bearbeiten und darzustellen. Diese prozedurale Kompetenz ist einerseits eine fächerübergreifende Kompetenz (mit Bibliotheken oder Internet als Informationsquellen umgehen können), andererseits jedoch auch deutlich domänenspezifisch geprägt (Graphen interpretieren oder Tabellenwerte deuten). Selbst Messungen vorzunehmen oder Experimente gestalten zu können, sind prozedurale Kompetenzen, die typisch für den naturwissenschaftlichen Bereich sind.

### - Bewerten

Sachwissen und Handlungskompetenzen allein bestimmen jedoch nicht menschliches Verhalten. Zusätzlich ist eine **ethisch-moralische Kompetenz** vonnöten, um die Verhaltensmöglichkeiten an individuellen oder gesellschaftlichen Werten zu messen und zu einem Urteil über Verhaltensentscheidungen zu kommen. Wertesysteme zu kennen,

sie zur Prüfung von Verhalten anzuwenden, sie aber auch als historisch und kulturell bedingt erkennen zu können, sind zunächst von den Gegenstandsbereichen unabhängige Kompetenzen. Fragen der Art, ob Naturwissenschaft alles das tun sollte, was sie tun könnte (z.B. in der Stammzellenforschung oder beim Klonen) zeigen aber, dass es auch hier wieder domänenspezifische Besonderheiten gibt.

Unter **ästhetischer Kompetenz** verstehen Gräber, Nentwig und Nicolson (2002) die Fähigkeit, z.B. die Schönheit einer Kristallzucht zu erkennen oder die intellektuelle Eleganz einer Beweisführung zu durchschauen.

Laut Gräber, Nentwig und Nicolson (2002) speist sich *scientific literacy* aus all diesen Kompetenzen. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass ein naturwissenschaftlich gebildeter Mensch diese alle in gleichem Maße besitzt. Je nach Umständen und individueller Präferenz werden die verschiedenen Kompetenzen unterschiedlich ausgeprägt sein.

Auch für Osborne et al. (2004) muss sich der naturwissenschaftliche Unterricht von einer zu starken Fokussierung auf die Sachkompetenz lösen und verstärkt andere Kompetenzen fördern. Osborne et al. (2004) sind der Überzeugung, dass besonders die Fähigkeit, naturwissenschaftlich zu argumentieren gefördert werden sollte, da dies die SchülerInnen befähigt, das erlernte Konzept einer dritten Person, die möglicherweise anderer Meinung ist, auch zu erklären. Deshalb fordern Osborne et al. (2004) einen Unterricht, der neben der Sachkompetenz besonders die kognitive Kompetenz und die epistemologische Kompetenz der SchülerInnen fördert.

Unter kognitiver Kompetenz verstehen Osborne et al. (2004) die Fähigkeit, wissenschaftlich zu begründen und zu argumentieren und auch die Argumente anderer kritisch zu hinterfragen. Forderungen, die Argumentations- und Begründungsfähigkeiten der SchülerInnen zu fördern, beruhen nicht zuletzt auch auf dem Gedanken, dass dadurch ein aufgeklärteres Verständnis des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns entwickelt werden kann (Driver 2000).

Unter epistemologischer Kompetenz verstehen Osborne et al. (2004) die Fähigkeit, die Wege und Prozesse, die zur Entstehung von naturwissenschaftlichem Wissen führten, zu verstehen und zu erkennen, welche Fakten und Beweise für die Gültigkeit einer wissenschaftlichen Idee sprechen. Laut Osborne et al. (2004) können die SchülerInnen durch das Lernen fertiger Konzepte kein Verständnis für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn entwickeln. Sie werden nicht befähigt, die intellektuellen Leistungen zu verstehen, die jene Personen geleistet haben, die als erstes eine wissenschaftliche Erklärung für ein bestimmtes Konzept lieferten und mit diesen Erklärungen auch ein skeptisches Publikum und die Öffentlichkeit überzeugen mussten.

### **2.1.3 Kompetenzen, die durch die erstellten Unterrichtsmaterialien gefördert werden**

Die entwickelten Unterrichtsmaterialien zum Thema Fotosynthese greifen die Idee des kompetenzorientierten Unterrichtes auf und zielen darauf ab, dass neben der Sachkompetenz besonders auch die methodische oder prozedurale Kompetenz (im Sinne von Gräber, Nentwig und Nicolson 2002), die kognitive Kompetenz (im Sinne von Osborne et al. 2004) und die epistemologische Kompetenz (im Sinne von Osborne et al. 2004) der SchülerInnen gefördert wird.

#### **2.1.3.1 Sachkompetenz**

Sachkompetenz umfasst das Verständnis ausgewählter natürlicher Phänomene sowie die Fähigkeit, auf dieser Basis sachbezogen zu urteilen und bewusst zu handeln. In Bezug auf die erstellten Unterrichtsmaterialien verstehe ich unter Sachkompetenz ein grobes

Verständnis des Themas Fotosynthese und ein Verständnis der Bedeutung der Fotosynthese für das Pflanzenwachstum.

Fotosynthese ist einer der wichtigsten biochemischen Prozesse ohne den ein Leben auf der Erde aus verschiedenen Gründen nicht möglich wäre. Erst durch die Sauerstoffproduktion der Pflanzen ist heterotrophes Leben auf der Erde möglich. Doch nicht nur aufgrund der Sauerstoffproduktion ist die Fotosynthese der wahrscheinlich wichtigste biochemische Prozess. Aufgrund der Fähigkeit, bei der Fotosynthese aus anorganischen Molekülen ( $H_2O$  und  $CO_2$ ) energiereiche organische Moleküle (Zucker) zu generieren, sind die Pflanzen die Basis fast aller Nahrungsketten. Ein Verständnis des Themas Fotosynthese ist deshalb die Basis für ein Verständnis von ökosystemaren Prozessen auf der Erde. Ein Verständnis des Themas Fotosynthese ist aber auch entscheidend, um aktuelle Diskurse zu den Themen Klimawandel, Nachhaltigkeit oder nachwachsende Rohstoffe zu verstehen oder daran teilzunehmen. Aufgrund der Wichtigkeit des Themas nimmt die Fotosynthese auch eine zentrale Rolle im biologischen Curriculum ein.

Fotosynthese ist nicht nur einer der wichtigsten Prozesse auf der Welt, sondern auch einer der am meisten untersuchten in der Biologiedidaktik. Die Ergebnisse der biologiedidaktischen Forschung (Stavy et al. 1987, Washeed und Lucas 1992, Kinchin, 2000a, Carlson 2002b, Lin et al. 2003, Ergazaki et al. 2005, Marmaroti et al. 2006) zeigen auf, dass die meisten SchülerInnen Probleme haben, Fotosynthese sinngreifend zu verstehen. Dies liegt daran, dass es ein sehr komplexes biologisches Thema ist, welches verschiedene Aspekte beinhaltet: biochemische, energetische, physiologische und ökologische. Alternativkonzepte für jeden einzelnen dieser Aspekte sind in der biologiedidaktischen Literatur beschrieben.

Ein oft beschriebenes Alternativkonzept ist, dass viele SchülerInnen, aber auch Erwachsene, der Meinung sind, dass die Pflanze ihre Nahrung über die Erde aufnimmt (Wandersee 1983, Wood-Robinson 1991, Leach et al. 1996, Marmaroti et al. 2006). Die Lernenden sind in diesem Fall der Meinung, dass die Pflanzen – ähnlich wie bei der heterotrophen Ernährungsweise der Tiere – ihre Nahrung von außen aufnehmen. Sie verstehen die autotrophe Natur der Pflanzen und somit auch ihre ökosystemare Rolle als Produzenten nicht. Ein weiteres Hindernis zum sinngreifenden Verstehen von Fotosynthese liegt darin, dass SchülerInnen Luft und Erde oft als Ganzes wahrnehmen und nicht als Mischung verschiedener Inhaltsstoffe. Zudem ist es speziell für junge Lernende schwer begreifbar, wie ein unsichtbares Gas aus der Luft gemeinsam mit Wasser aus der Erde die Nahrung der Pflanzen, nämlich Glucose herstellen kann. Weiters wird die Rolle des Sonnenlichts von vielen SchülerInnen nicht zureichend verstanden. Sonnenlicht wird von vielen SchülerInnen als „Hitze“ verstanden und nicht als „Lichtenergie“, die in andere Arten von Energie transformiert werden kann (Leach et al. 1996). Auch in Bezug auf Zellatmung und Fotosynthese sind verschiedene Alternativkonzepte beschrieben worden. Für viele SchülerInnen ist Fotosynthese die Atmung der Pflanzen, nur atmen sie eben nicht wie Tiere und Menschen Sauerstoff ein und Kohlendioxid aus, sondern genau umgekehrt (Canal 1999).

SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese wurden bisher hauptsächlich für SchülerInnen der Sekundarstufe 1 und 2 erhoben. Mir sind keine fachdidaktischen Arbeiten bekannt, die SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese bereits in der Primarstufe oder am Übergang Primar-/Sekundarstufe erhoben haben. Dies scheint mir jedoch besonders wichtig, da Fotosynthese teilweise bereits am Ende der Primarstufe, mit Sicherheit jedoch in den ersten zwei Jahren der Sekundarstufe unterrichtet wird. In Österreich sieht der Lehrplan vor, dass Fotosynthese in der ersten Klasse Hauptschule oder Gymnasium unterrichtet wird.

### **2.1.3.2 Methodenkompetenz und kognitive Kompetenz**

Unter Methodenkompetenz versteht man die Fähigkeit, naturwissenschaftliche Arbeitstechniken und Arbeitsweisen sachbezogen und situationsgerecht anzuwenden. Der naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinn basiert auf verschiedenen Methoden (Experimente, Beobachtungen,...). Selbst Messungen vorzunehmen oder Experimente gestalten zu können, sind Kompetenzen, die typisch für den naturwissenschaftlichen Bereich sind. Aber auch gezieltes Beobachten ist eine in den Naturwissenschaften wichtige Methode. NaturwissenschaftlerInnen verwenden verschiedenste Methoden, alle Methoden zielen jedoch darauf ab, Belege für eine bestimmte Schlussfolgerung zu finden.

Dazu notwendig ist die kognitive Kompetenz, auf Basis gesammelter Daten oder eigener Beobachtungen naturwissenschaftliche Phänomene nicht nur zu beschreiben, sondern auch zu erklären. Methodenkompetenz und kognitive Kompetenz bedingen sich gegenseitig. Ohne experimentelle Daten kann man die Daten nicht interpretieren und Schlüsse ziehen, man kann ohne Daten nicht wissenschaftlich argumentieren und begründen. Die Unterrichtsmaterialien zielen darauf ab, dass die SchülerInnen durch selbständiges Planen und Durchführen einfacher Experimente ihre eigenen Daten generieren und anschließend interpretieren und Schlüsse ziehen.

Die fachdidaktische Literatur zu naturwissenschaftlichem Begründen und Argumentieren in der Volksschule ist nicht sehr umfangreich und teilweise auch widersprüchlich. Keogh et al. (2003) gehen davon aus, dass SchülerInnen am Ende der Volksschule sehr wohl in der Lage sind, in der Gruppe naturwissenschaftliche Probleme zu diskutieren und wissenschaftlich zu argumentieren, obwohl ihre Argumentation teilweise vom naturwissenschaftlichen Standpunkt aus betrachtet nicht eindeutig ist. Sodian et al. (2002) gehen davon aus, dass Volksschulkinder Probleme haben, Sachverhalte und Beweise für eben diese Sachverhalte in Verbindung zu bringen und Ergebnisse von Experimenten mit der Theorie zu verknüpfen. Daraus resultiert, dass im Volksschulalter oft planlos experimentiert wird ohne sich darauf zu fokussieren, wozu denn dieses Experiment überhaupt gut sein soll oder was die SchülerInnen mit diesem Experiment herausfinden wollen. Carey et al. (1989) gehen davon aus, dass auf Basis von Experimenten, denen keine klare Forschungsfrage oder Hypothese vorausgeht, die SchülerInnen Schlüsse ziehen, die ihre eigenen Meinungen belegen – auch wenn die experimentellen Daten diesen Meinungen teilweise widersprechen. Eine aktuelle Studie mit 350 SchülerInnen in Brandenburg (Deutschland) zeigt, dass 11jährige SchülerInnen sehr wohl in der Lage sind, die Qualität unterschiedlicher Argumente zu unterscheiden. Die befragten SchülerInnen erkannten in einem aus 16 Fragen bestehenden Test größtenteils die schlüssigsten Begründungen für einen gegebenen Sachverhalt und waren auch bei Interviews in der Lage, wissenschaftlich zu argumentieren (Gromadecki et al. 2007).

Die erstellten Materialien geben den SchülerInnen die Möglichkeit selbständig Experimente zu planen, durchzuführen und zu evaluieren. Ziel dieser Experimente soll es sein, basierend auf den experimentellen Daten schlüssige Begründung für einen bestimmten Sachverhalt zu generieren. In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, welche wissenschaftlichen Methoden die SchülerInnen beim Arbeiten mit den Materialien verwenden und ob die Materialien die Fähigkeit der SchülerInnen, wissenschaftlich zu begründen, fördern.

### **2.1.3.3 Epistemologische Kompetenz**

Unter epistemologischer Kompetenz versteht man die Fähigkeit, Genese, Ontologie, Bedeutung, Rechtfertigung und Gültigkeit von Wissen in den Wissenschaften zu verstehen (Priemer 2006). Baumert et al. (2000) beschreiben epistemologische Überzeugungen mit Vorstellungen und subjektiven Theorien, die Personen über das

Wissen und den Wissenserwerb generell oder in spezifischen Domänen entwickeln. Epistemologische Überzeugungen thematisieren, wie Erkenntnisse gewonnen werden und welche praktische Relevanz diese Erkenntnisse besitzen. Sie spiegeln damit die Grundauffassungen und Einstellungen gegenüber Wissenschaften wieder. Aus Baumerts Formulierung lässt sich erkennen, dass epistemologische Überzeugung allgemein und hinsichtlich einzelner Wissenschaftsdisziplinen (domänenspezifisch) gebildet werden können. Unterschiedliche Forschungstraditionen in der psychologischen und der fachdidaktischen Forschung bezeugen dies. In der psychologischen Forschung liegt der Schwerpunkt stärker auf allgemeinen fächerübergreifenden Ansichten über Wissenschaften und deren Wege der Erkenntnisgewinnung (Epistemologie). Die fachdidaktische Forschung in den Naturwissenschaften fokussiert hingegen auf die domänenspezifischen Ansichten. Was charakterisiert den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn und welche Vorstellungen haben SchülerInnen oder LehrerInnen von der Natur der Naturwissenschaft, der *nature of science* (NOS)?

Die Diskussion über die *nature of science* hat besonders im angloamerikanischen Raum in den letzten 15-20 Jahren zunehmende Bedeutung gewonnen. Dies sieht man auch an den vielen wissenschaftlichen Publikationen in diesem Bereich (Abd-El-Khalick 2000, Abd-el-Khalik 2002, Abell 1994, Bell et al. 2003, Bell und Lederman 2003, Bianchini 2000, Craven 2002, Dhingra 2003, Duschl 2000, Eick 2000, Hogan 2000, Leach 1997, Leach 1999, Lederman 1999, Lin 2004, Murcia 1999 uvm.). Doch auch abseits des wissenschaftlichen Diskurses hat die *nature of science* an Bedeutung gewonnen und Einzug in offizielle Dokumente in Schulbehörden und Ministerien gehalten. Und auch in Österreich gewinnt das Konzept der *nature of science* – besonders auch im Zusammenhang mit den zu definierenden Bildungsstandards – an Bedeutung. Ansichten über die *nature of science* können folgendermaßen präzisiert werden (Priemer 2006):

- Ansichten über die Praxis naturwissenschaftlichen Arbeitens (z.B. die Genese von Wissen in den Naturwissenschaften, verwendete Methoden und Verfahren, soziale Diskurse der Wissenschaftsgemeinschaft)
- Ansichten über den epistemologischen Status naturwissenschaftlichen Wissens (z.B. Bedeutung und Gültigkeit gewonnener Aussagen, Gesetzmäßigkeiten und Theorie)
- Ansichten über die Strukturierung und Klassifikation von Wissen (z.B. der Aufbau und die Einteilung wissenschaftlicher Domänen)
- Ansichten über die persönliche Bedeutung naturwissenschaftlicher Inhalte (z.B. Relevanz für das tägliche Leben)

In der wissenschaftlichen Literatur ist über die epistemologischen Überzeugungen im Volksschulalter sehr wenig zu finden. Kuhn (in Grygier 2004) geht davon, dass Kinder und Jugendliche mit der Differenzierung zwischen Theorie und Evidenz große Schwierigkeiten haben. Deshalb verstünden sie die naturwissenschaftliche Epistemologie inklusive der Logik der Prüfung von Hypothese und den Zusammenhang zwischen Theorie und Evidenz unzureichend. Untersuchungen von Schrepp und Sodian (in Grygier 2004) und Leach (1999) widersprechen dieser Auffassung teilweise. Ihre Untersuchungen zeigen, dass ältere GrundschülerInnen sehr wohl zwischen Theorie und Evidenz unterscheiden können und experimentelle Daten interpretieren und begründen können.

Die erstellten Unterrichtsmaterialien fördern durch das selbständige Planen, Durchführen und Evaluieren einfacher Experimente gefolgt von einer gemeinsamen Reflexion über die Aussagekräftigkeit der erstellten Daten epistemologische Kompetenz. Ziel ist es, dass die SchülerInnen lernen, wie sich Beweis und Theorie zueinander verhalten, warum sie z.B. wissen, dass eine Pflanze nur bei Licht Sauerstoff produziert. Im Rahmen der Evaluation der Unterrichtsmaterialien soll geklärt werden, ob die SchülerInnen, die mit den Unterrichtsmaterialien arbeiten, den Zusammenhang zwischen ihrem Wissen und den

Prozessen, mit denen sie dieses Wissen generiert haben, verstehen, sprich ob sie den Zusammenhang zwischen Theorie und Evidenz verstehen.

#### **2.1.4 Bedeutung für die eigene Forschung**

Die Diskussion zur *scientific literacy* ist sehr geeignet, wertvolle Impulse für den naturwissenschaftlichen orientierten Bildungsauftrag in der Volksschule zu geben.

Auch in der Volksschule ist es möglich und wichtig, Forschungsprozesse durchschaubar zu machen, indem sie als von Menschen gemacht und veränderbar vermittelt werden. Dies ist aber sicherlich nicht durch den kognitiven Nachvollzug vorgegebener Wissensbestände möglich, sondern durch ein selbsttätiges forschendes Lernen (Marquardt-Mau 2001).

Sobald wissenschaftliche Konzepte nicht als festgelegte Tatsachen sondern als veränderbare und im Lauf der Zeit veränderte wissenschaftlichen Prozesse vermittelt werden, wird auch ein Verständnis für die wissenschaftliche Arbeitsweise und den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn vermittelt.

Durch ein aktives selbständiges Forschen der SchülerInnen und einer anschließenden gemeinsamen Diskussion und Reflexion nicht nur des erworbenen Wissens sondern auch der Art und Weise, wie dieses Wissen erarbeitet wurde, gelangen die SchülerInnen einerseits zu einem tieferen Verständnis der vermittelten Konzepte und gleichzeitig zu einem Verständnis des wissenschaftlichen Erkenntniserwerbes (Abd-El-Khalick 2004).

Ziel des Sachunterrichtes kann und soll es sein, aufbauend auf dem im Volksschulalter noch weitgehend vorhanden intrinsischen Interesse der Mädchen und Jungen an der Natur und an den Naturwissenschaften (Sjöberg 1988) durch einen forschenden Unterricht ein Verständnis für einzelne wissenschaftliche Konzepte und für wichtige Aspekte wissenschaftlichen Arbeitens zu schaffen. Auf diesem Verständnis und dem durch diese Unterrichtsweise geförderten Interesse an den Naturwissenschaften kann in der Sekundarstufe aufgebaut werden und so Schritt für Schritt eine umfassendere *scientific literacy* erreicht werden.

## 2.2 Interesse und Einstellungen

Jüngsten Berichten zufolge ist europaweit festzustellen, dass sich immer weniger junge Menschen für ein naturwissenschaftliches Studium entscheiden (OECD 2006, Rocard et al. 2007). Obwohl die Zahl der Studierenden jedes Jahr steigt, nimmt der relative Anteil an StudentInnen in den naturwissenschaftlichen Fächern kontinuierlich ab. In Fächern wie Mathematik und Physik sinken sogar die absoluten Zahlen an Studierenden (OECD 2006).

Verschiedenste Studien (Jones et al. 2000, Osborne et al. 2003) zeigen, dass das Interesse an naturwissenschaftlichen Themen und Inhalten sehr stark genderabhängig ist und dass das Interesse an naturwissenschaftlichen Inhalten mit dem Eintritt in die Sekundarstufe kontinuierlich abnimmt. Kahle und Lakes (1983) stellen fest, dass SchülerInnen sehr oft mit positiven Einstellungen gegenüber Naturwissenschaften von der Volksschule in weiterführende Schulen wechseln, sich diese anfangs positiven Einstellungen jedoch sehr bald aufgrund der meist negativen Erfahrungen mit Naturwissenschaften durch einen inadäquaten Unterricht ändern. Dies manifestiert sich in einem ab dem elften Lebensjahr verstärkt beobachtbaren Interessensverlust an naturwissenschaftlichen Inhalten, wobei dieser Interessensverlust bei jungen Frauen wesentlich ausgeprägter ist als bei jungen Männern.

### 2.2.1 Interesse als Konstrukt

Von Interesse spricht man dann, wenn ein Gegenstand oder Gegenstandsbereich identifiziert werden kann, der von einer Person mit einem besonderen Wert verbunden wird. Interesse bezeichnet dabei die Beziehung einer Person und einem Interessensgegenstand. Interesse ist der gegenstandsbezogene und damit der fachdidaktisch besonders interessante Teil der Motivation (Kattmann 2000).

Es gibt verschiedene Definitionen für Interesse. So beschreibt zum Beispiel Todt (1978) Interesse als in der Person liegende Disposition für bestimmte Handlungen oder Gegenstände. Krapp (1998) hingegen berücksichtigt in seinem Modell neben dem überdauernden individuellen Interesse einer Person auch den Aspekt eines Interesses, das kurzfristig aus der Interessantheit einer bestimmten Situation resultiert. Für Krapp ist Interesse also vielmehr eine Person-Gegenstands-Relation. Interesse wird dabei weder (als mehr oder weniger) stabile Eigenschaft einer Person (Interessiertheit) noch als Gegenstandsvariable (Interessantheit) verstanden, sondern als Ergebnis der Auseinandersetzung von Person und Gegenstand und der dabei stattfindenden Wechselwirkungen (Abbildung 2).

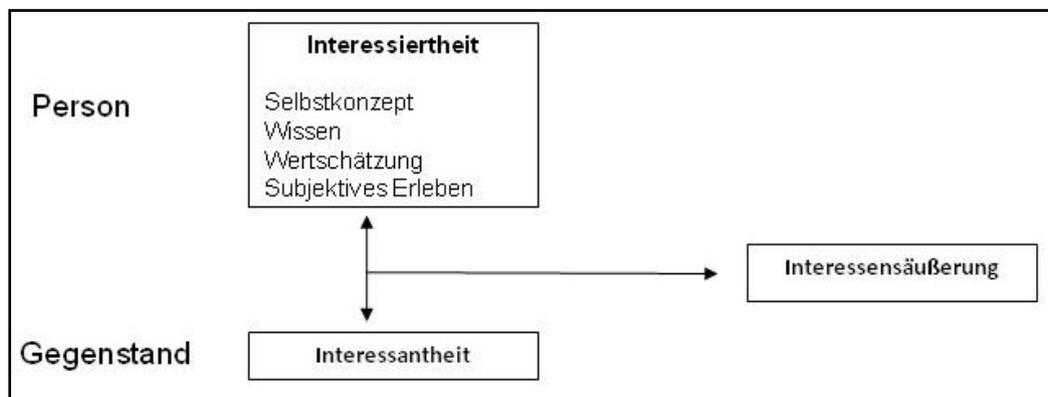


Abbildung 2: Interesse als Person-Gegenstands-Relation (Krapp 1998)

Der in einer konkreten Situation erlebte Zustand der interessenorientierten Auseinandersetzung mit einem Gegenstand entsteht durch die Interaktion von individuellen (Interessiertheit) und gegenstandsbezogenen (Interessantheit) Faktoren. Eine Person-Gegenstands-Auseinandersetzung, die primär von „innen“ veranlasst ist und im Wesentlichen auf der Interessiertheit beruht, wird von Krapp (1992) als **aktualisiertes Interesse** definiert. Entscheidender Auslöser einer entsprechenden Handlung sind in dieser bestimmten Situation die individuellen Präferenzen einer Person. **Situationales Interesse** bezeichnet dagegen eine Person-Gegenstands-Auseinandersetzung, die ihren Ursprung vor allem durch Anreize der jeweiligen Situation erfährt. Diese Form des Interesses kann unabhängig von einem individuellen Interesse dieser Person in Bezug auf den Gegenstand vorkommen.

Bei der Gestaltung von Unterricht muss man kurzfristige Lernmotivation, die zu situationalem Interesse während einer Unterrichtsphase führt, von einer längerfristigen positiven gegenstandsbezogenen Disposition, aktualisiertem Interesse, unterscheiden.

In der Interessenforschung wird betont, dass ein motivierender Einstieg, der durch Sensation, Neuigkeit oder Überraschung Aufmerksamkeit erzeugt und zu situationalem Interesse führen kann, nicht automatisch auch zur Interessensbildung beitragen muss. Vielmehr muss zur „catch“ Komponente eine „hold“ Komponente hinzukommen, die die Lernenden kognitiv und emotional in Anspruch nimmt, insbesondere indem die Beschäftigung mit dem Lerngegenstand als sinnvoll empfunden wird (Kattmann 2000). Eine situationsspezifische Aktivierung reicht also nicht aus, es müssen weitere Faktoren dazukommen, die sich positiv auf die „hold“ Komponente auswirken. Eine zentrale Rolle spielt dabei, dass die Beschäftigung mit dem Interessensgegenstand als emotional positiv erlebt wird, so dass diese auch längerfristig als erstrebenswert eingeschätzt wird.

### 2.2.2 Interessensgenese

Der Prozess der Interessensgenese ist für die vorliegende Arbeit besonders interessant. Die erstellten Unterrichtsmaterialien verfolgen ja unter anderem das Ziel, das Interesse der SchülerInnen an selbständigem Forschen und an den Naturwissenschaften zu fördern.

Das Entstehen persönlichen Interesses kann durch wiederholtes situationales Interesse gefördert werden. Für die Ausbildung persönlichen Interesses entscheidend ist laut Krapp (1998) die Befriedigung von Grundbedürfnissen wie Autonomie, verwirklicht im selbstbestimmten Lernen, von Kompetenzerleben und Erfahrung der sozialen Eingebundenheit in die Lerngruppe (Abbildung 3).

**Soziale Eingebundenheit** zwischen den Lernenden und auch zwischen Lehrenden und Lernenden wird als unabdingbar für das Lernen mit Interesse angesehen. Lewalter et al. (1998) nennen i) das positive Erleben des sozialen Klimas, ii) persönliche soziale Eingebundenheit in eine Gruppe, iii) persönliches Erleben von Zutrauen und Unterstützung und iv) die Qualität der sozialen Beziehung zur Lehrkraft als wesentliche Merkmale für die Qualität des sozialen Klimas in einer Klasse.

**Das Erleben von Kompetenz** ist nach Krapp (1998) eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung von Interesse. Es beinhaltet das Erfahren von fachlicher Kompetenz bei der Bewältigung von Aufgaben. Überforderung aber auch Unterforderung, fehlender Kompetenzerwerb sowie mangelndes Zutrauen von Seiten der Lehrperson können das Kompetenzerleben erschweren oder verhindern.

Das **Bedürfnis nach Autonomie** ist der Wunsch, sich selbst als eigenständig handelnd zu erleben. Nach Lewalter et al. (1998) wünscht sich eine Person nur dort Handlungsfreiheit, wo sie glaubt, die anstehenden Aufgaben erfolgreich bewältigen zu

können. Wo dies nicht der Fall ist, bleibt sie auf die Hilfe und Unterstützung anderer angewiesen und akzeptiert diese auch. Gerade in Lehr-Lern-Prozessen ist das Bedürfnis nach Autonomie also stets auf das jeweils erreichte Kompetenzniveau bezogen.

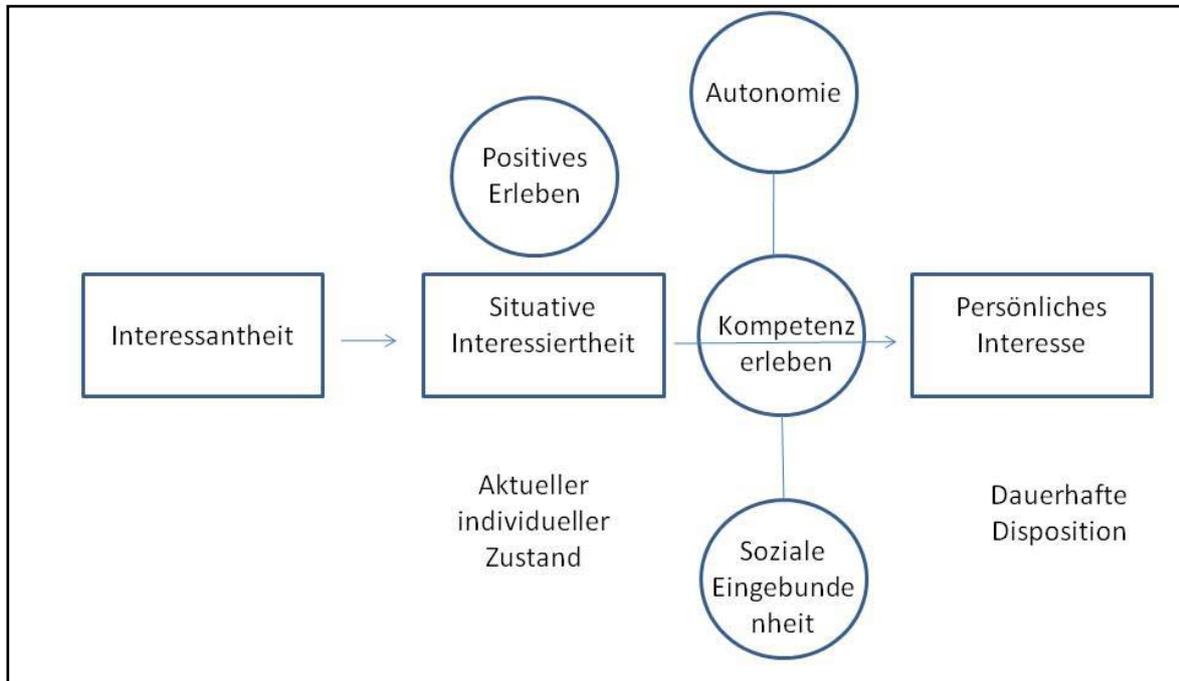


Abbildung 3: Interessensgenese als dauerhafte Disposition (Kattmann 2000)

### 2.2.3 Unterricht und Interessensgenese

Zur Rolle des Unterrichts für die Interessensentwicklung gibt es unterschiedliche Ergebnisse und Einschätzungen. Während einige Autoren die Möglichkeit des Unterrichts gering schätzen, werden durch einige Untersuchungen Interessensänderungen belegt (Kattmann 2000).

Folgende Ergebnisse sind speziell für den naturwissenschaftlich orientierten Unterricht wichtig:

- Individuelle Interessen (Interessiertheit) unterliegen im Verlauf der Schullaufbahn einer stetigen Veränderung. Mit zunehmendem Alter verändern sich das Selbstkonzept und auch die Interessen der Jugendlichen. Untersuchungen in verschiedenen Ländern haben gezeigt, dass das individuelle Interesse an den naturwissenschaftlichen Fächern (mit Ausnahme von Biologie) in der Sekundarstufe überproportional abnimmt. Bei Mädchen ist dieser Interessensverlust noch ausgeprägter (OECD 2006).
- Eine Lernumgebung führt dann zu Interessensentwicklung, wenn die Beschäftigung mit dem Lerngegenstand ein hohes Kompetenzerleben, soziale Eingebundenheit und Autonomieerleben ermöglichen (Krapp 2005, Lewalter et al. 2001)
- Ein gewählter anwendungsbezogener oder gesellschaftlicher Kontext kann eine größere Bedeutung für das entwickelte thematische Interesse haben als der eigentliche naturwissenschaftliche Inhalt selbst (Kattmann 2000). Das heißt, wenn den Lernenden bewusst wird, was der naturwissenschaftliche Inhalt mit dem eigenen Leben zu tun hat, führt das zu

einer Interessenssteigerung. Auf dieser Basis wird in Deutschland versucht, den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe verstärkt in den lebensweltlichen Kontext der SchülerInnen zu integrieren (Biologie im Kontext, Chemie im Kontext). Dietze et al. (2005) konnten zeigen, dass SchülerInnen der Sekundarstufe besonders stark an biologischen Inhalten interessiert waren, die in humanbiologische bzw. praxis- und alltagsrelevante Kontexte eingebettet sind.

- Experimentieren wirkt im Allgemeinen positiv auf das Interesse. So kann zum Beispiel eine physiologisch experimentelle Behandlung das Interesse an Pflanzen steigern (Kattmann 2000). Harlen (1999) führt jedoch an, dass es oft nicht das Experimentieren an sich ist, welches zu einer Interessenssteigerung führt, sondern in vielen Fällen die mit dem Experimentieren einhergehende Abwechslung zum „normalen“ Unterricht.

*„Often it is the opportunity to engage in the variety of active learning methods, to interact more freely with the teacher and with other children, and to pace the work as it suits them, that appeals, rather than the opportunity to conduct bench work investigations per se (Harlen 1999, S. 7)“*

Hodson (1990) geht davon aus, dass selbständiges Experimentieren nur dann positiv auf das Interesse der SchülerInnen wirkt, wenn mit dem Experimentieren eine kognitive Herausforderung einhergeht, ein klares Ziel erkennbar ist, das Experiment funktioniert und die Lernenden ein hohes Autonomiegefühl haben.

- Selbstbestimmte Tätigkeiten fördern, lehrerInnenkontrollierte Tätigkeiten behindern situationales Interesse (Kattmann 2000).
- Außerschulische Lernorte können durch ihren hohen Grad an Authentizität positiv auf das situationale Interesse wirken. Der didaktischen Aufarbeitung kommt in außerschulischen Lernumgebungen entscheidende Bedeutung für die Ausbildung situationalen Interesses zu. Wichtig ist zudem die Einbindung des Besuches in den Regelunterricht, sprich eine Vor- und Nachbereitung in der Schule (Glowinski 2007).

## **2.2.4 Bedeutung für die eigene Forschung**

Verschiedene Autoren haben, abgeleitet von empirischen Studien, allgemeingültige Merkmale Interesse fördernder Lernumgebungen beschrieben. Bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien wurden diese Merkmale berücksichtigt. Die Unterrichtsmaterialien sind so konzipiert, dass die Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenzerleben und soziale Eingebundenheit gewährleistet sind. Ein hohes Maß an selbständigem Experimentieren ist möglich, lebensweltliche und alltagsbezogene Kontexte werden hergestellt, außerschulische Lernorte in den Unterricht integriert.

Welche Einstellungen neun–elfjährige SchülerInnen gegenüber naturwissenschaftlichem Arbeiten in der Volksschule haben und welche Auswirkungen die erstellten Unterrichtsmaterialien auf deren Interessensentwicklung haben, wird in dieser Arbeit diskutiert (5.4.1).

## 3 Ausgangslage

### 3.1 Naturwissenschaftliche Themen im Sachunterricht

In Österreich wird der naturwissenschaftliche Bildungsauftrag in der Primarstufe nicht in einem eigenen Fach wahrgenommen, sondern als Teilbereich eines breit angelegten Sachunterrichtes. Der Lehrplan der Volksschule teilt den Sachunterricht in sechs Erfahrungs- und Lernbereiche.

- Gemeinschaft
- Raum
- Wirtschaft
- Zeit
- Natur
- Technik

In den folgenden Unterkapiteln werde ich auf der Basis einer Inhaltsanalyse des österreichischen Volksschullehrplanes und informellen Gesprächen mit VolksschullehrerInnen und LehrerInnenausbildnerInnen versuchen, den aktuellen naturwissenschaftlichen Unterricht an Österreichs Volksschulen zu skizzieren. Ich konzentriere mich dabei auf die Erfahrungs- und Lernbereiche Natur und Technik, da naturwissenschaftliche Themen hauptsächlich in diesen zwei Bereichen umgesetzt werden.

#### 3.1.1 Erfahrungs- und Lernbereich Technik

##### 3.1.1.1 Der Lehrplan

Der Lehrplan sieht für den Erfahrungs- und Lernbereich Technik folgende Bildungs- und Lehraufgaben vor:

*„Die Arbeit geht von der Begegnung der SchülerInnen mit technischen Gegebenheiten, mit Naturkräften und Stoffen in seiner Umwelt aus. Anzustreben ist das Verständnis, dass der Mensch in das Ordnungsgefüge der Natur eingebettet, von den Naturgesetzen abhängig und für die Auswirkungen seiner Eingriffe in die Umwelt verantwortlich ist. Dieser Erfahrungs- und Lernbereich hat über das Erlernen fachspezifischer Arbeitsweisen das Gewinnen von Grundkenntnissen und Einsichten zu vermitteln und zu sachgerechtem und verantwortungsbewusstem Umgang mit Stoffen und technischen Geräten anzuleiten“ (bm:bwk 2005)*

Die didaktischen Überlegungen für den Lernbereich Technik betonen die Bedeutung des Versuches, insbesondere des Schülerversuches, da dieser sämtliche fachspezifischen Arbeitsweisen integriere, die Lernbereitschaft, das Verantwortungsbewusstsein und die Kooperationsfähigkeit der SchülerInnen fördere (bm:bwk 2005).

##### 3.1.1.2 Die Unterrichtspraxis

Informellen Gesprächen zufolge, spielt der Erfahrungs- und Lernbereich Technik im Sachunterricht eine untergeordnete Rolle. Gründe dafür sehen meine GesprächspartnerInnen besonders in dem fehlenden Selbstvertrauen, Experimente durchzuführen und die dahinter stehenden Konzepte den SchülerInnen zu erklären. Gründe für das eingeschränkte Kompetenzzempfinden sehen die befragten LehrerInnen hauptsächlich in der eigenen mangelhaften naturwissenschaftlichen Ausbildung. Als zusätzliches Hemmnis für die Durchführung eines forschenden Unterrichtes wird der Zeitaufwand für Vorbereitung und Planung genannt. Erhebungen in Wien und der Steiermark zeigen ähnliche Ergebnisse. Neben den fehlenden Kompetenzen und dem hohen Zeitaufwand, wird auch das Fehlen aufbereiteter Unterrichtsmaterialien häufig als Grund dafür genannt, dass selbständiges Experimentieren im Sachunterricht häufig zu

kurz kommt. Der Wunsch nach aufbereiteten Unterrichtsmaterialien inkludiert einerseits konkretes Material für Versuche, andererseits auch Hintergrundinformationen, didaktische Hinweise und Vorschläge für die Gestaltung problem- und handlungsorientierter Lernumgebungen (Pokorny 2003, Schradt 2005).

### **3.1.2 Erfahrungs- und Lernbereich Natur**

#### **3.1.2.1 Der Lehrplan**

Für den Erfahrungs- und Lernbereich Natur sieht der Lehrplan folgende Bildungs- und Lehraufgaben vor:

*„Die Arbeit geht von der Begegnung der SchülerInnen mit der Natur und den Erfahrungen mit dem eigenen Körper aus. Anzustreben ist ein Verständnis für die Natur als Lebensgrundlage des Menschen und für den Menschen selbst als Teil der Natur. Die Unterrichtsarbeit muss über das Gewinnen von Grundkenntnissen zum Erlernen fachspezifischer Arbeitsweisen und schließlich zu verantwortungsbewusstem Verhalten gegenüber der Natur und dem eigenen Körper führen“ (bm:bwk 2005)*

Die didaktischen Überlegungen für den Lernbereich Natur sollen sich auf die Tatsache stützen, dass die SchülerInnen (bei der Auseinandersetzung mit der Sachwelt) besonderes Interesse an der lebenden Natur zeigen. Die beste Voraussetzung für Lernmotivation und effektiven Unterricht sei die direkte Begegnung mit der Natur. Der Unterricht solle didaktische Konzepte verfolgen, die in den SchülerInnen den Wunsch zum Entdecken und Erforschen der Natur verstärken (bm:bwk 2005).

#### **3.1.2.2 Die Unterrichtspraxis**

Themen aus dem Erfahrungs- und Lernbereich Natur werden wesentlich häufiger unterrichtet als Themen aus dem Lernbereich Technik. Klassische Themen sind Ernährung, Haustiere, Frühblüher, einfache Keimungsversuche oder das Anlegen von Blättersammlungen. Die Unterrichtsinhalte orientieren sich dabei sehr an der Lebensrealität der SchülerInnen. Auch im Erfahrungs- und Lernbereich Natur wird den SchülerInnen jedoch nur in Ausnahmefällen die Möglichkeit gegeben, selbständig zu experimentieren oder die präsentierten Inhalte zu hinterfragen. Die Gründe dafür sind dieselben wie die bereits weiter oben beschriebenen: mangelndes Kompetenzzempfinden der LehrerInnen und Angst davor, dass die Versuche scheitern könnten.

### **3.1.3 Naturwissenschaftliche Grundbildung im Sachunterricht**

#### **3.1.3.1 Der Lehrplan**

Die Idee einer naturwissenschaftlichen Grundausbildung wird im Volksschullehrplan zwar nicht explizit erwähnt, dennoch sind einzelne Aspekte einer *scientific literacy* im Lehrplan zu finden. Allein die Bezeichnung Erfahrungs- und Lernbereich impliziert, dass der/die Schüler/Schülerin durch selbständiges Handeln Sachverhalte erfahren und lernen soll.

In den allgemeinen didaktischen Überlegungen wird neben der Vermittlung von Kenntnissen und Fertigkeiten auch die Bedeutung des Erlernens fachspezifischer Arbeitsweisen betont. Unter fachspezifischen Arbeitsweisen werden beispielhaft eine Reihe von Tätigkeiten genannt: Untersuchen, Beobachten, Betrachten, selbständiges Planen, Durchführen, Evaluieren einfacher Experimente.

Darüber hinaus sollen Zusammenhänge im Lernen und Denken der SchülerInnen durch situationsorientierte Unterrichtsansätze, durch handelnde Arbeitsweisen (z.B. entdeckendes Lernen, projektorientiertes Lernen) sowie durch sinnvolles Vernetzen von bereichsübergreifenden Aspekten angestrebt werden (bm:bwk 2005).

Um die naturwissenschaftliche Arbeitsweise zu verstehen, ist es notwendig, naturwissenschaftlich zu arbeiten, d.h. die SchülerInnen müssen die Möglichkeit haben, selbständig Experimente zu planen, durchzuführen und zu evaluieren. Der österreichische Volksschullehrplan steht also nicht direkt im Widerspruch zur Idee der *scientific literacy* und die Bedeutung selbständigen Experimentierens, Forschens und Entdeckens wird betont.

Dennoch werden wichtige Eigenschaften des wissenschaftlichen Arbeitens nicht erwähnt. Unter fachspezifischen Arbeitsweisen nennt der Lehrplan ausschließlich manuelle naturwissenschaftliche Arbeitstechniken wie Messen, Beobachten, Experimentieren. Entscheidende Merkmale der wissenschaftlichen Arbeitsweise wie Fragestellungen formulieren, Hypothesen erstellen, Beweise für eine vertretbare Schlussfolgerung sammeln usw. werden jedoch nicht genannt. Dem Prozess des naturwissenschaftlichen Wissenserwerbes (hypothetisch-deduktiv) wird im Lehrplan keine Bedeutung zugemessen.

Deshalb ist es nicht überraschend, dass wissenschaftliches Arbeiten in der Volksschule – wenn überhaupt durchgeführt – oft auf der Ebene manueller Arbeitstechniken verbleibt. Versuche werden nachgekocht, ohne der Problemformulierung, der Untersuchungsplanung oder der Diskussion der Ergebnisse genügend Raum zu geben.

Um SchülerInnen ein Verständnis für die naturwissenschaftliche Arbeitsweise zu vermitteln, reicht es jedoch nicht aus, naturwissenschaftliche Methoden zu verwenden. Es muss den SchülerInnen klar vermittelt werden, welchen Zweck diese Methoden verfolgen. Die Naturwissenschaft verwendet verschiedenste Methoden. Alle zielen jedoch darauf ab, Beweise für eine vertretbare Schlussfolgerung zu finden. Es geht beim wissenschaftlichen Arbeiten nicht darum, „etwas herauszufinden“, sondern darum, dieses „etwas“ mit Fakten aus Beobachtungen oder Experimenten zu belegen. Um dieses Verständnis zu vermitteln ist es notwendig, den didaktischen Fokus vom „Schulversuch zum forschenden Unterricht“ weiterzuentwickeln (Mayer 2002).

### **3.1.3.2 Die Schulbücher**

In welchem Ausmaß mit Hilfe der Schulbücher Experimentiersituationen im Sinne von eigenständigem Forschen geschaffen werden, wurde für alle in Österreich approbierten Schulbücher der 3. und 4. Schulstufe analysiert (Greinstetter 2006). Der Fokus lag dabei auf „Experimentieren mit Wasser“.

Die Untersuchung zeigt, dass in 55,8% der 115 berücksichtigten Versuchsanleitungen keine Problemstellung erkennbar war und nur etwa 1% zum Formulieren eigener Fragen auffordert. In 79,1% der Versuchsanleitungen werden die Materialien und die Untersuchungsschritte „kochrezeptartig“ vorgegeben (Greinstetter 2006). Bei 53,9% der Versuche wird zum gezielten Beobachten, bei 31,3% zum Skizzieren und bei 21,7% zum Messen aufgefordert.

Äußerst selten werden Impulse zum selbständigen Weiterdenken gesetzt. Nur bei 7% der Versuchsanleitungen sind Impulse zum Vergleichen vorhanden, bei 8% zum Aufstellen von Vermutungen und bei 6% zum Entwerfen neuer Experimente. Lediglich bei 8,7% der Versuchsanleitungen werden Impulse zum Suchen von Erklärungen gegeben.

**Löst sich auf - oder auch nicht**

I like experiments.

Ich kann weiße Körner aus dem Salzwasser zaubern!

Dafür muss man überhaupt nicht „zaubern“ können. Mache einen einfachen Versuch und du weißt, wie es geht!

Du brauchst einen Topf. Vermische Salz mit wenig Wasser. Rühre um!

Erhitze diese Mischung und lasse das Wasser verdampfen!

Was bleibt danach im Topf übrig?

Du kannst Wasserdampf auffangen. Halte einen Deckel über den Topf, dann bilden sich unter dem Deckel Tropfen. Schüttele diese Tropfen in ein Glas! Es ist Süßwasser, das du trinken kannst. Nach diesem Prinzip funktionieren Süßwasser-Anlagen, die man in Ländern baut, die am Meer liegen.

Abbildung 4: Experimentieranweisung aus einem in Österreich weit verbreiteten Sachunterrichtsbuch

Die oben abgebildete Versuchsanleitung zeigt deutlich das von Greinstetter (2006) skizzierte „Forschen“ im Sachunterricht. Die SchülerInnen kochen rezeptartig die Vorgaben im Buch nach („Halte einen Deckel über den Topf, ...“). Die Ergebnisse werden vorweggenommen, es besteht keine Möglichkeit für die SchülerInnen zum selbständigen Suchen nach Erklärungen („Es ist Süßwasser, das du trinken kannst“).

Eine Analyse der Versuchsanleitungen sagt noch nichts über die Verwendung dieser Versuche im Unterricht aus. Möglicherweise dienen die Versuchsanleitungen als Inspiration und die LehrerInnen setzen die Ideen im eigenen Unterricht wesentlich besser um, als es die Schulbücher vorschlagen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Schulbücher ein wesentlicher Anhaltspunkt für viele LehrerInnen sind und es ist fraglich, ob LehrerInnen, die ihre eigenen Kompetenzen in Bezug auf den naturwissenschaftlichen Unterricht als sehr gering einschätzen, die vorgeschlagenen Versuchsanleitungen in einer Weise ändern, die eigenständiges naturwissenschaftliches Denken auf Seite der SchülerInnen unterstützt.

Experimente sind meiner Meinung nach ein wichtiger Bestandteil eines zeitgemäßen Sachunterrichtes. Sie können eigenständiges Suchen nach Erklärungen fördern, müssen es jedoch nicht. Versuchsanleitungen, die den SchülerInnen Schritt für Schritt vorgeben, was zu tun ist und anschließend auch noch Erklärungen für das Beobachtete liefern, fördern im besten Fall verschiedene manuelle Arbeitstechniken wie Pipettieren oder Mikroskopieren, jedoch sicherlich nicht eigene konstruktive Denkprozesse.

Ziel eines naturwissenschaftlich orientierten Sachunterrichts sollte es sein, Lernumgebungen zu schaffen, in denen der Lernende die Möglichkeit hat, selbständig zu experimentieren, zu forschen und zu manipulieren. Wenn dieses Experimentieren jedoch nur auf der Ebene manueller Arbeitstechniken stehen bleibt, wenn die einzelnen Experimente nicht auch Denkprozesse anregen und zu Erklärungen von Seiten der Lernenden führen, unterscheiden sich diese *hands-on* Aktivitäten nicht wesentlich von einem herkömmlichen Frontalunterricht. *Hands-on* alleine führt weder zu Verständnis noch zu eigenen kognitiven Prozessen, wenn diese Aktivitäten nicht auch ein *minds-on* beinhalten. Diesen Anspruch habe ich beim Erstellen der Unterrichtsmaterialien verfolgt.

Wie dieser Anspruch bei der Entwicklung der Materialien umgesetzt wurde, möchte ich im nächsten Kapitel besprechen.

## 4 Entwicklung der Unterrichtsmaterialien

In Kapitel 2 wurde der Wissenskanon, was *scientific literacy* ist und wie sie den naturwissenschaftlichen Unterricht idealerweise bereichert, ausschnittsweise und kurz zusammengefasst. Dieser Wissenskanon ist zum größten Teil von WissenschaftlerInnen an Universitäten und LehrerInnenausbildungsstätten entwickelt worden und wird auch in diesen Kreisen kommuniziert. Für die meisten LehrerInnen ist die Theorie zur *scientific literacy* eine weitere irrelevante akademische Abstraktion und nicht eine potentielle Bereicherung für den eigenen Unterricht. Dies dürfte für LehrerInnen in der Primarstufe besonders zutreffen, da der naturwissenschaftliche Bildungsauftrag in der Volksschule eine sehr untergeordnete Rolle spielt (3.1).

Um die Kluft zwischen Theorie und Praxis zu überbrücken, wurde versucht, den abstrakten Begriff *scientific literacy* in Unterrichtsmaterialien zu verpacken, die sich an den Wünschen der VolksschullehrerInnen bezüglich aufbereiteter Unterrichtsmaterialien orientierten. Entscheidend für die Überwindung der Kluft war die enge Zusammenarbeit und intensive Kommunikation sowohl mit PraktikerInnen als auch TheoretikerInnen.

In diesem Kapitel werden die den Unterrichtsmaterialien zugrunde liegenden pädagogischen und fachdidaktischen Überlegungen und die organisatorischen Rahmenbedingungen zusammengefasst.

### 4.1 Organisatorische Rahmenbedingungen

Die Unterrichtsmaterialien wurden im Rahmen des EU Projektes Plant Science Gardens (P7170-018-011; Projektleitung Dr. Suzanne Kapelari, Institut für Botanik, Universität Innsbruck) entwickelt und evaluiert. Ziel des Plant Science Gardens (PSG) Projektes war es, die Kooperation von formellen Bildungseinrichtungen (Volksschulen) und informellen Bildungseinrichtungen (Botanischen Gärten) zu stärken, indem Unterrichtsmaterialien entwickelt werden, die das selbständige Forschen der SchülerInnen in der Schule und in Botanischen Gärten fördern. Im Rahmen des Projektes wurden in vier europäischen Ländern (Bulgarien, England, Italien und Österreich) Unterrichtsmaterialien zu verschiedenen pflanzenbezogenen Themen entwickelt, getestet und evaluiert. In Bulgarien wurden Materialien zum Thema Pflanzen in der Kunst, in England zum Thema Nahrungspflanzen, in Italien zum Thema Artenvielfalt und Artenschutz und in Österreich zum Thema Fotosynthese und Pflanzenwachstum entwickelt. In allen vier Teilen werden Methoden verwendet, die die Entwicklung der in Kapitel 2 beschriebenen Kompetenzen (Sachkompetenz, Methodenkompetenz, kognitive Kompetenz und epistemologische Kompetenz) fördern. In allen vier Ländern wurden die entwickelten Unterrichtsmaterialien zumindest in vier Volksschulklassen getestet und evaluiert. Die Evaluation der Unterrichtsmaterialien floss direkt in die Verbesserung und Weiterentwicklung der Unterrichtsmaterialien ein. Die erstellten Unterrichtsmaterialien (alle vier Themen) erschienen Anfang 2008 in Buchform (Kapelari et al. 2007) und als CD und sind über die Internetseite [www.plantscafe.net](http://www.plantscafe.net) in den vier Sprachen der beteiligten Länder erhältlich.

Das PSG Projektdesign war so konzipiert, dass durch die enge Zusammenarbeit von FachdidaktikerInnen der Universität und Pädagogischen Hochschule und VolksschullehrerInnen und -direktorInnen Unterrichtsmaterialien entstehen, die einerseits den aktuellen Forschungsstand zu forschendem Lernen und andererseits die Schwierigkeiten, die VolksschullehrerInnen mit forschendem Lernen haben, berücksichtigen.

Meine Aufgabe im Rahmen des PSG-Projektes war die Entwicklung und Evaluation der Unterrichtsmaterialien zum Thema Fotosynthese und Pflanzenwachstum und die Leitung der nationalen Arbeitsgruppe. Die nationale Arbeitsgruppe bestand aus FachdidaktikerInnen der Universität Innsbruck und PH Tirol, VolksschullehrerInnen und

VolksschuldirektorInnen, MitarbeiterInnen der Grünen Schule des Botanischen Gartens in Innsbruck und Vertretern der regionalen Bildungsbehörden (Bezirksschulrat und Landesschulrat).

Die Diskussion mit den MitarbeiterInnen der nationalen Arbeitsgruppe und vor allem die Diskussionen mit der Projektleiterin Dr. Suzanne Kapelari beeinflussten die Entwicklung der Unterrichtsmaterialien wesentlich. Zusätzlich entstammen viele Ideen, die in die Entwicklung der Unterrichtsmaterialien einfließen, dem regen internationalen Austausch mit den anderen MitarbeiterInnen des PSG Projektes, wobei besonders der Einfluss der Arbeitsgruppe um Dr. Sue Johnson, Institut of Education, London University zu erwähnen ist.

Die enge Zusammenarbeit mit den beteiligten VolksschullehrerInnen und –direktorInnen beeinflusste die Entwicklung der Materialien ebenfalls wesentlich. Ein wichtiges Kriterium für eine nachhaltige Implementierung der erstellten Unterrichtsmaterialien ist die Berücksichtigung der LehrerInnenwünsche und –bedürfnisse bereits bei der Entwicklung der Materialien. Die LehrerInnen entscheiden als ExpertInnen, ob die erstellten Unterrichtsmaterialien den Rahmenbedingungen in ihren Klassen gerecht werden oder nicht. Um dies zu garantieren, wurden die Unterrichtsmaterialien in enger Kooperation mit VolksschullehrerInnen entwickelt und getestet. Entscheidend war, dass nicht ich den Unterricht in den Klassen durchführte sondern die am Projekt beteiligten LehrerInnen. Auf diese Weise konnten sie mir ein Feedback geben, was ihrer Meinung gut gelaufen ist und – noch wichtiger – was nicht gut gelaufen ist und wo sie noch mehr Unterstützung (z.B. durch zusätzliche Hintergrundinformationen) brauchen würden. Durch die Evaluation durch die LehrerInnen konnten anschließend ihre Verbesserungsvorschläge eingearbeitet werden und somit die Unterrichtsmaterialien schrittweise verbessert werden. So entstanden Unterrichtsmaterialien, die einerseits den didaktischen Ansprüchen nach forschend-begründendem Lernen entsprachen und sich andererseits auch im Klassenzimmer und bei LehrerInnen, die ein geringes Kompetenzzempfinden gegenüber naturwissenschaftlichen Inhalten und Arbeitsweisen haben, bewährten. Die Zusammenarbeit begann bereits bei der Themenauswahl und wurde bei der Entwicklung, der Evaluation bis hin zur Entscheidung über die grafische Ausarbeitung der erstellten Materialien intensiv weitergeführt.

In den Unterrichtsmaterialien finden sich auch Vorschläge für den Unterrichtsverlauf. Diese Vorschläge basieren auf den Erfahrungen, die wir während des Testens der Unterrichtsmaterialien in den vier Klassen gemacht haben. Es hat sich gezeigt, dass diese Vorschläge den Gebrauch der Unterrichtsmaterialien vereinfachen können und die LehrerInnen dabei unterstützen, den Gedanken des forschend-begründenden Unterrichts in ihren Klassen umzusetzen. Diese Methode des *educative curriculum* (Ball und Cohen 1996), bei der den LehrerInnen nicht nur Unterrichtsmaterialien zur Verfügung gestellt werden, sondern auch gezielte Informationen, wie diese Unterrichtsmaterialien eingesetzt werden können, ist besonders für LehrerInnen hilfreich, die noch wenig Erfahrung mit forschend-begründendem Lernen haben. Durch diese Methode kann auch teilweise verhindert werden, dass LehrerInnen neue Unterrichtsmaterialien, die auch neue Unterrichtsstile fordern und erfordern, auf „herkömmliche“ Art unterrichten. Die LehrerInnen sind natürlich nicht verpflichtet, diese Vorschläge aufzunehmen, sie können genauso nur die Arbeitsblätter verwenden oder auch nur Teile davon und die Unterrichtsmaterialien an die jeweiligen Bedingungen in ihren Klassen und den eigenen Unterrichtsstil adaptieren.

Bevor ich die erstellten Unterrichtsmaterialien und die verwendeten Methoden übersichtsartig beschreibe, möchte ich noch kurz die konzeptuellen Rahmenbedingungen, die die Entwicklung der Unterrichtsmaterialien ebenfalls stark beeinflussten, darstellen.

## **4.2 Konzeptuelle Rahmenbedingungen**

### **4.2.1 Lernen in der Schule**

#### **4.2.1.1 Theoretischer Hintergrund**

Der naturwissenschaftliche Unterricht an Österreichs Schulen lässt sich als „Wissenserwerbsunterricht“ (Baumert 1997) charakterisieren. Dabei erfolgt der Wissenserwerb weitgehend additiv, indem neue Sachverhalte dazu gelernt werden, ohne dass sie mit vorhandenen Vorstellungen verknüpft werden. Die zu unterrichtenden Sachverhalte sind dabei oft zu starr auf schulische Kontexte fixiert, was dazu führt, dass SchülerInnen „träges Wissen“ erwerben. Unter „trägem Wissen“ wird das Phänomen verstanden, dass Lernende in Unterrichtssituationen häufig Wissen erwerben, das sie zwar in Prüfungen oder den Vermittlungssituation ähnlichen Kontexten wiedergeben können, aber für die Lösung komplexer und realitätsnaher Aufgaben nicht angewendet werden kann (Gräsel 2000, Gruber 2000, Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001).

#### **Primat der Instruktion**

Zentrale Gründe für die Entstehung von trägem Wissen liegen in der traditionellen Unterrichtsgestaltung, die den Schwerpunkt auf Instruktion setzen. Dabei wird Lehren und Lernen als ein Wissenstransport betrachtet, bei dem Wissen – welches zu Beginn nur der Lehrende „besitzt“ – vom Lehrenden zum Lernenden transportiert wird. Die Aufgabe der LehrerInnen besteht darin, das Unterrichtsgeschehen systematisch zu planen und die Wissensinhalte in kleinen Scheiben den SchülerInnen zu präsentieren und zu erklären, um zu verhindern, dass die SchülerInnen von der Wissensmenge überfordert werden (Gräsel 2000). Der Gegenstand des Lehrens und des Lernens wird dabei als fertiges System vermittelt, weshalb auch von gegenstandsorientierten Lernumgebungen gesprochen werden kann. Ziel des Lehr-Lerngeschehens ist, dass objektive Inhalte so übermittelt werden, dass der Lernende am Ende dieses Wissenstransports den vermittelten Wissensausschnitt in ähnlicher Form besitzt wie der Lehrende (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001). Den SchülerInnen kommt dabei eine passive Rolle zu, ihnen werden die Wissensinhalte vorgegeben. Dadurch werden eigenständiges Durchdenken der Lerninhalte, ihr Vergleich mit eigenen Erfahrungen oder Vorwissen und das Reflektieren von Anwendungsmöglichkeiten unwahrscheinlich (Gräsel 2000). Genau diese aktiven und konstruktiven Lernprozesse sind jedoch zentral, wenn Wissen erworben werden soll, das in realitätsnahen Situationen angewendet werden kann. Zusätzlich führen die passive Haltung und die fehlende Eigenverantwortung zu einem Absinken an Interesse und Motivation (Kattmann 2000).

Wenn gegenwärtig am traditionellen Unterricht Kritik geübt wird, betreffen die Argumente oft Defizite der gegenstandsorientierten bzw. kognitivistischen Auffassung von Lehren und Lernen. Fehlende Eigenverantwortung, Passivität auf Seiten der SchülerInnen, ein Nachkauen vorgegebener „Wissensbissen“ und deren Wiedergabe in praxisfremden Testsituationen führe zu trägem Wissen, welches mit den komplexen und wenig strukturierten Anforderungen und Erfahrungen in Alltagssituationen nur wenig gemeinsam habe (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001).

#### **Primat der Konstruktion**

Als Gegenposition zu den kognitivistischen Modellen zu Lehren und Lernen haben sich eine Reihe von Forschungsansätzen und Theorierichtungen entwickelt, die als konstruktivistisch geprägte Ansätze zusammengefasst werden können (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001).

Im Gegensatz zu kognitivistisch gefärbten Lehr- und Lernstrategien, bei denen objektives Wissen durch gegenstandszentrierte Instruktion vermittelt wird, gehen konstruktivistische

Lerntheorien davon aus, dass Wissen keine Kopie der Wirklichkeit ist, sondern eine individuelle Konstruktion von Menschen. Wissen ist demnach kein äußerer Gegenstand, der sich gleichsam von Lehrenden zum Lernenden transportieren lässt und dementsprechend muss Lernen ein aktiver und selbstgesteuerter Prozess sein, dessen Kontextbezug durch „situierte“, sprich realitätsnahe Lernumgebungen hergestellt werden soll (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001). Instruktion von Seite des Lehrenden tritt zugunsten der aktiven Wissenskonstruktion des Lernenden in den Hintergrund. Dem Lehrenden kommt dabei vor allem die Aufgabe zu, realitätsnahe Problemsituationen und „Werkzeuge“ zur Problembearbeitung zur Verfügung zu stellen und den Lernenden bei Bedarf zu unterstützen. Auch in Hinblick auf die Steuerung und Kontrolle des Lernprozesses wird vom Lernenden mehr Eigenverantwortung erwartet. Anstelle einer gegenstandsorientierten summativen Evaluation am Ende eines Lernprozesses tritt eine formative, prozessbegleitende Evaluation, welche sowohl dem Lehrenden und dem Lernenden Hinweise dafür gibt, wie der Lernprozess verläuft und welche Korrekturen, Hilfen und zusätzliche Unterstützungsmaßnahmen sinnvoll erscheinen. Die Evaluation dient also nicht primär der Lernerfolgskontrolle oder dem Generieren von Noten, sondern ist ein integraler Bestandteil des Lernens, der aufzeigt, was bereits verstanden wurde und wo noch Wissenslücken vorhanden sind.

Obwohl viele in der konstruktivistischen Denktradition entwickelte Ideen sehr überzeugend wirken, gibt es besonders bei der praktischen Umsetzung konstruktivistischer Lehr-Lernsequenzen einige Probleme. Einer radikalen konstruktivistischen Perspektive, bei der es keine objektive Realität, sondern nur subjektiv konstruierte Wirklichkeiten gibt, steht das Lehren eines objektiven Wissenskanons – eine der Aufgaben der Schule bzw. des Lehrenden - ja gerade diametral entgegen. Weiters können sehr offene Lernumgebungen, die dem Lernenden besonders viel Autonomie gewährleisten, viele Lernende überfordern. Besonders schwächere SchülerInnen sind durch das selbstgesteuerte Lernen Überforderungen ausgesetzt, womit die Schere zwischen guten und schlechten SchülerInnen in rein konstruktivistischen Lernumgebungen sich weiter vergrößert (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001).

Ausgehend von den Schwächen, welche das Primat der Instruktion und das Primat der Konstruktion für sich alleine aufweisen, gehen Reinmann-Rothmaier und Mandl (2001) davon aus, dass eine Balance zwischen Instruktion und Konstruktion der anzustrebende Idealfall unterrichtlicher Tätigkeit ist, ein Ansatz der in die Literatur als der gemäßigt konstruktivistische Ansatz Einzug gefunden hat.

### **Der gemäßigt konstruktivistische Ansatz**

Konstruktion und Instruktion lassen sich nicht nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip realisieren. Lernen erfordert zum einen immer Motivation, Interesse und Eigenaktivität seitens des Lernenden. Lernen erfordert aber auch Orientierung, Anleitung und Hilfe. Der konzeptuelle Hintergrund der erstellten Unterrichtsmaterialien geht davon aus, dass sich Instruktion von Seiten der Lehrenden und Konstruktion auf Seite der Lernenden keineswegs ausschließen müssen. Diese Position wird in der Literatur als gemäßigter Konstruktivismus ausgewiesen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Prozesse der Instruktion und Konstruktion sich nicht ausschließen, sondern vielmehr gleichzeitig stattfinden und daher eng miteinander verknüpft sind (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001). Im gemäßigten Konstruktivismus wird Lernen als eine persönliche Konstruktion von Bedeutung interpretiert, die allerdings nur dann gelingt, wenn eine ausreichende Wissensbasis zur Verfügung steht. Zu deren Erwerb kann auch auf instruktionale Anleitung und Unterstützung nicht verzichtet werden. Es erscheint nicht sinnvoll, im Unterricht ständig fertige Wissenssysteme nach feststehenden Regeln vermitteln zu wollen; auf der anderen Seite hätte es aber auch wenig Sinn, nur auf die Konstruktionsleistung der Lernenden zu vertrauen.

Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) definieren fünf Prozessmerkmale des Lernens vor einem gemäßigt konstruktivistischen Hintergrund:

1. **Lernen ist ein aktiver Prozess:** Effektives Lernen ist nur über die aktive Beteiligung der Lernenden möglich. Dazu gehört, dass sie zum Lernen motiviert werden und für die Lernaufgabe ein situatives Interesse entwickeln. Bei der Unterrichtsgestaltung ist kurzfristige Lernmotivation, die zu situativem Interesse während einer Unterrichtsphase führt, zu unterscheiden von einer überdauernden positiven gegenstandsbezogenen Disposition, die als persönliches Interesse bezeichnet wird (Kattmann 2000). Ein motivierender Einstieg, der durch Sensation, Neuigkeit oder Überraschung Aufmerksamkeit erzeugt, führt zwar zu einem situativen Interesse muss aber nicht unbedingt zur Interessensbildung beitragen. Natürlich wäre es erstrebenswert für eine Lehrerin/einen Lehrer, bei den SchülerInnen ein langfristiges Interesse für das jeweilige Fach zu entwickeln. Es ist jedoch keine Schülerin und kein Schüler dazu verpflichtet, sich für das zu interessieren, was die jeweilige Lehrerin oder den jeweiligen Lehrer interessiert. Um jedoch den Lernerfolg auf Seiten der SchülerInnen zu erhöhen ist es notwendig, ein situatives Interesse bei den SchülerInnen zu entwickeln. Dazu muss die Beschäftigung mit dem Lerngegenstand als sinnvoll erlebt werden.
2. **Lernen ist ein selbstgesteuerter Prozess:** Der Lernende ist selbst für die Steuerungs- und Kontrollprozesse verantwortlich. Dies wird durch einen hohen Grad von Autonomie der Lernenden gewährleistet, wobei Reinmann-Rothmeier und Mandl (2001) auch von Autonomie sprechen, wenn einzelne Handlungsabschnitte fremdbestimmt sind, sofern die Lernenden nicht das Gefühl hat, in seinem Tun völlig eingeschränkt oder kontrolliert zu sein. Sehr offene Lernumgebungen, welche den Lernenden besonders viel Autonomie gewähren bzw. selbständiges Handeln abverlangen, können Lernende überfordern (Gräsel 1993). Deshalb sind in möglichst wirksamen Lernumgebungen – besonders für schwächere SchülerInnen, die mit offenen Lernumgebungen wenig Erfahrung haben, strukturierende Elemente unverzichtbar (Wilde 2006).
3. **Lernen ist ein konstruktiver Prozess:** Jedes Lernen baut auf bereits vorhandenen Kenntnissen auf. Ohne Erfahrungs- und Wissenshintergrund finden keine kognitiven Prozesse statt, die eine dauerhafte Veränderung des Wissens und Könnens bewirken. Die SchülerInnen müssen ihre Erfahrungen in den Unterricht einbringen können. Von wissenschaftlichen Theorien abweichende Erklärungen sind dabei nicht als zu beseitigende Fehlvorstellungen zu betrachten, sondern als bewährte Alltagskonzepte, die als Voraussetzungen und Ansätze zum Weiterlernen dienen sollten (Kattmann 2000).
4. **Lernen ist ein situativer Prozess:** Lernen erfolgt stets in spezifischen Kontexten, die den Lernenden erst den Interpretationshintergrund für ihre eigene subjektive Konstruktion bietet. Da Wissen eine individuelle Konstruktion ist, müssen den Lernenden Situationen angeboten werden, in denen eigene Konstruktionsleistungen möglich sind und kontextgebunden gelernt werden kann. Die Lernsituation ist sowohl für das Wissen, welches wir erwerben als auch dafür, wann und wie wir dieses Wissen anwenden können, relevant (Gräsel 2000). Unter einer situierten Perspektive wird angenommen, dass der Transfer von Wissen vor allem dann gelingt, wenn die Lern- und Anwendungssituation vergleichbar sind. Träges Wissen entsteht dann, wenn die Lernsituationen nicht den realen und komplexen Situationen der Lebenswirklichkeit entsprechen. Zielt der Unterricht also auf den Erwerb von Wissen ab, das zum Handeln im komplexen alltäglichen Leben angewendet werden kann, muss die Lernsituation der Alltagssituation möglichst ähnlich sein (Gräsel 2000). Dazu müssen Problemsituationen

geschaffen werden, die Problemen im täglichen Leben der Lernenden entsprechen könnten.

- 5. Lernen ist ein sozialer Prozess:** Lernen ist fast immer ein interaktives Geschehen. Deshalb sollte gemeinsames Arbeiten von Lernenden Bestandteil möglichst vieler Lernphasen sein. Diskussionen, die die ganze Klasse mit einbeziehen, bieten für viele SchülerInnen nicht die Möglichkeiten, sich an den Diskussionen zu beteiligen. Die Lernumgebung ist deshalb so zu gestalten, dass sie kooperatives Lernen und Problemlösen in der Gruppe ermöglicht und fördert (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001).

Zusammengefasst fokussieren konstruktivistische – und auch der gemäßigt konstruktivistische Ansatz – darauf, dass die Lernenden sich ihr Wissen auf der Grundlage der bereits vorhandenen Vorstellungen selbst konstruieren. Lernen ist unter dieser Annahme nicht der Neuerwerb eines bestimmten Konzeptes sondern ein Konzeptwechsel (*conceptual change*) von einem „Alltagskonzept“ zu einem wissenschaftlich anerkannten Konzept (Widodo 2004, Duit 2003).

Grundsätzlich lassen sich zwei Arten von Konzeptwechsel unterscheiden. Solche, bei denen kontinuierlich, Schritt für Schritt und von der vorunterrichtlichen Vorstellung ausgehend zu den wissenschaftlich anerkannten Vorstellungen geleitet wird. Außerschulische Erfahrungen werden als Ausgangspunkt aufgegriffen und schrittweise wird eine wissenschaftlichere Sichtweise entwickelt. Der Konzeptwechsel ist ein evolutionärer Prozess (Wildodo 2004).

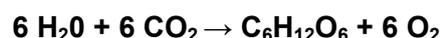
Piaget geht davon aus, dass Lernende neue Erfahrungen an ihr Alltagskonzept anpassen bzw. in ihr Alltagskonzept einbauen, anstatt – beeinflusst von den neuen Erfahrungen – ihr Konzept zu ändern. Deshalb geht Piaget davon aus, dass die Basis für einen Konzeptwechsel eine Unzufriedenheit mit dem Alltagskonzept sein muss. Der Konzeptwechsel entsteht dabei durch plötzliche, punktuelle Einsichten. Grundlage dafür ist ein kognitiver Konflikt (Wildodo 2004) oder in Piagets Termini ein „kognitives Ungleichgewicht“ (Limon 2001). Wildodo und Duit (2004) nennen diesen Konzeptwechselansatz „revolutionär“, da er im Gegensatz zum evolutionären Ansatz nicht Schritt für Schritt vom Alltagskonzept zum wissenschaftlich anerkannten Konzept führt, sondern - basierend auf einem kognitiven Konflikt – schlagartig auf einen Konzeptwechsel abzielt.

#### **4.2.1.2 Von der Theorie zur Praxis**

##### **- Lernen als konstruktiver Prozess**

Meine eigenen Unterrichtserfahrungen als Schüler zum Thema Fotosynthese lassen sich in etwa wie folgt beschreiben:

30 teils unmotivierte SchülerInnen der 5a Klasse sitzen im Biologiesaal des Bundesgymnasiums Feldkirch. Unser damaliger Lehrer betritt den Raum und gemeinsam wird die Fotosynthesegleichung erarbeitet.



Diese Reaktion läuft in den Chloroplasten ab und benötigt neben  $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{CO}_2$  auch noch Licht, welches mit Hilfe des Chlorophylls eingefangen werden kann.

Ungefähr zehn Jahre später, Sommersemester 2002 unterrichtete ich im Rahmen meiner eigenen fachdidaktischen Ausbildung das Thema Fotosynthese in einer 6. Klasse des naturwissenschaftlichen Realgymnasiums Wien 23, Anton-Kriegergasse.

Doris Elster, damals Lehrerin am Realgymnasium Anton-Kriegergasse, beobachtete den Unterricht und schrieb folgendes in ihr Forschungstagebuch:

*„Als Einstieg ins Thema wurde, wie man es aus dem universitären Betrieb kennt“ ein kurzer Expertenvortrag gehalten, der den Schüler/innen Überblick über das komplexe Thema Fotosynthese bringen sollte.*

*Student Ch. erarbeitete zu diesem Zweck gemeinsam mit den Schüler/innen die Fotosynthesegleichung und versuchte dann, durch den Vergleich von Fotosynthese und Zellatmung die Energiegewinne bzw. Energieverluste zu erarbeiten. Ein kompliziertes Thema, das die Schüler/innen eher in die Rolle der passiven Konsumenten drängte.*

*In der Klasse war es vollkommen still als Ch. mit dem Tafelbild begann. Er stellte einige Fragen. „Wozu braucht die Pflanzen Wasser?“ „Wie heißt der Stoff, der das Blatt grün färbt?“ Einige Schüler arbeiteten zögernd mit. Andere beobachteten nur. Als Ch. die Folie mit dem Vergleich Fotosynthese und Zellatmung auflegte, machte sich Unruhe breit. Zahlen, Begriffe wo man anscheinend nicht recht wusste, wie man sie einordnen sollte. „Was haben heterotrophe Organismen mit der Fotosynthese zu tun?“ Ch. griff die Zwischenfrage eines Schülers auf, spannte den Bogen noch weiter, beschrieb noch weitere Zusammenhänge. Dann die abschließenden Kernaussagen: Bei der Fotosynthese wird Sonnenenergie im Ausmaß von 2870 kJ zum Aufbau von Glucose genutzt, bei der Zellatmung wird beim Abbau der Glucose wieder 2870 kJ Energie frei...“ (Elster 2002)*

Mein eigener Biologielehrer hat Fotosynthese hauptsächlich als biochemische Reaktion, welche Wasser und Kohlendioxid mit Hilfe des Lichtes in Zucker und Sauerstoff verwandelt, unterrichtet.

Ich wählte eine ähnliche Herangehensweise. Auch ich vermittelte Fotosynthese hauptsächlich als chemische Reaktion und versuchte zusätzlich noch die energetischen Konzepte – sprich den Zusammenhang Fotosynthese und Zellatmung – herauszuarbeiten.

Diese Herangehensweise – obwohl eher typisch für den Unterricht zum Thema Fotosynthese – ist speziell für junge SchülerInnen wahrscheinlich nicht sehr zielführend und vernachlässigt alle Prozessmerkmale, die den Unterricht vor einem gemäßigt konstruktivistischen Hintergrund kennzeichnen.

Als besonders problematisch sehe ich die Vernachlässigung von SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese bzw. Pflanzenwachstum. Alltagsvorstellungen spielen eine wesentliche Bedeutung beim Verstehen wissenschaftlicher Konzepte und ihre Vernachlässigung hemmt verstehendes Lernen wissenschaftlicher Inhalte.

Während wissenschaftliche Erklärungen oft auf einer „mikro-konzeptuellen“ Ebene arbeiten, sind Alltagsvorstellungen von täglichen Erfahrungen und Beobachtungen beeinflusst und arbeiten auf einer „makro-phänomenologischen“ Ebene (Ergazaki 2005).

Junge SchülerInnen können meistens mit dem Begriff Fotosynthese noch nichts anfangen, sie haben jedoch bereits ihre eigenen Vorstellungen, wie Pflanzen wachsen und was sie dazu benötigen. Eigene Erhebungen zeigen, dass die am Projekt beteiligten SchülerInnen vor dem Projekt bereits klare Ideen hatten, was eine Pflanze zum Wachsen braucht. Die Bedeutung von Wasser, Licht und „Erde“ für das Pflanzenwachstum ist ihnen bewusst (makro-phänomenologische Ebene). Die Bedeutung von Kohlendioxid und

Blattgrün ist jedoch den wenigsten SchülerInnen bekannt, ebenso wie eine genaue Erklärung, wie denn aus Licht, Wasser und Erde Strukturen wie Holz oder neue Blätter entstehen können (5.4.2.1.2).

In der Schule erfahren sie dann, dass die Pflanze aus Wasser, Kohlendioxid und Licht, Zucker und Sauerstoff produziert. Die Fotosynthesegleichung wird erarbeitet (mikro-konzeptuelle Ebene).

Ergazaki et al. (2005) gehen davon aus, dass durch das Fehlen von Links zwischen diesen beiden Ebenen ein verstehendes Lernen zum Thema Fotosynthese speziell für junge SchülerInnen nicht möglich ist.

Bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien habe ich diesen Gedanken aufgegriffen. Indem Fotosynthese im Zusammenhang mit Pflanzenwachstum vermittelt wird, ist die Möglichkeit der Vernetzung der zwei Ebenen gegeben und somit die Voraussetzung für verstehendes Lernen geschaffen. Anstelle der – für den Unterricht zum Thema Fotosynthese leider üblichen – Konzentration auf die mikro-konzeptuelle Ebene, wird in den Unterrichtsmaterialien an den SchülerInnenkonzepten zum Thema Pflanzenwachstum angeknüpft und immer wieder werden Verbindungen zwischen der makro-phänomenologischen und der mikro-konzeptuellen Ebene hergestellt.



Abbildung 5: Mikro-konzeptuelle „Lehrer-Erklärung“ versus makro-phänomenologische SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese/Pflanzenwachstum

Das heißt auch, dass der Unterricht zum Thema Fotosynthese nicht mit den Endprodukten der Fotosynthesegleichung (Zucker und Sauerstoff) enden darf, sondern der Zusammenhang zwischen Zucker, Stärke, Bodenmineralen und Pflanzenwachstum erarbeitet werden muss, da sonst die mikro-konzeptuellen Erklärungen nicht in die eigenen makro-phänomenologischen Vorstellungen eingebaut werden können und somit verstehendes Lernen nicht stattfindet.

Indem Fotosynthese als „Nahrungsherstellung“ für das Pflanzenwachstum erarbeitet wird, kann darauf aufbauend die ökologische Bedeutung der Fotosynthese und der Pflanzen

als Startpunkt fast aller Nahrungsketten vermittelt werden. Somit wird die Bedeutung dieses Prozesses von rein „pflanzenbezogen“ auf „für das eigene Leben relevant“ erweitert.

Durch die Vermittlung des Themas Fotosynthese im Kontext Pflanzenwachstum ist es möglich, das neu zu erlernende in die eigenen Wissenshintergründe der SchülerInnen zu integrieren. Der Lernprozess ist konstruktiv und folgt dem evolutionären Konzeptwechselansatz. Ausgehend von den SchülerInnenvorstellungen wird schrittweise ein Konzeptwechsel erreicht. Ausgehend von der Alltagsvorstellung zu Pflanzenwachstum (Pflanzen brauchen Licht, Wasser und Erde zum Wachsen) wird schrittweise ein wissenschaftlich anerkanntes Konzept erarbeitet (Pflanze stellt aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  mithilfe von Licht, Zucker her. Aus Zucker und mit den Bodenmineralen baut die Pflanze all jene Strukturen auf, die wir kennen: Holz, neue Blätter, usw.)

Zusätzlich werden in den einzelnen Modulen verschiedene Methoden verwendet, die auf Piagets Forderung nach einem kognitiven Konflikt basieren. Durch Methoden wie Vorhersagen-Beobachten-Erklären oder Concept Cartoons (4.4) sind die SchülerInnen aufgefordert, ihre eigenen Vorstellungen zu einem bestimmten Sachverhalt zu artikulieren. Diese Vorstellungen können sie anschließend durch eigenes Experimentieren oder dem Beobachten eines Versuches verifizieren oder falsifizieren. Sobald die eigene Beobachtung nicht mit der eigenen Vorhersage übereinstimmt, entsteht ein kognitiver Konflikt, auf dessen Basis Konzeptwechsel entstehen können.

Der evolutionäre und revolutionäre Ansatz zu Konzeptwechsel (Widodo und Duit 2004) schließen sich nicht gegenseitig aus und beide Ansätze wurden bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien berücksichtigt.

#### **- Lernen als situativer Prozess**

Situierendes Lernen wird mit dem Lösen eines für die SchülerInnen interessanten und entsprechend komplexen Problems verbunden. Wissen wird im konkreten Handeln bei der Problemlösung erworben.

Bereits in der Einstiegseinheit wird mit der Frage „Warum können wir in einer Welt ohne Pflanzen nicht leben?“ ein persönlicher Bezug zum Thema hergestellt. Den SchülerInnen wird bewusst, welche Bedeutung Pflanzen im Allgemeinen und die Fotosynthese im Speziellen für ihr eigenes Leben hat.

Die weiteren Einheiten sind immer durch das Lösen konkreter Problemstellungen in der Gruppe gekennzeichnet. Unterscheidet sich unsere Ausatemluft von der Einatemluft? Was benötigt die Pflanze, um Sauerstoff produzieren zu können? Wie viel Grünfläche ist notwendig, damit ein Mensch einen Tag genug Sauerstoff zum Leben hat?

Die Unterrichtseinheiten im Botanischen Garten zeichnen sich durch die Authentizität der Lernerfahrung aus, es wird mit echten Organismen gearbeitet und ein hohes Maß an Primärerfahrung wird gesammelt.

#### **- Lernen als aktiver und selbstgesteuerter Prozess**

In allen Einheiten ist ein hohes Maß an Selbststeuerung der SchülerInnengruppen notwendig. Durch die gezielten Interventionen von Seiten der LehrerInnen und die Vorgaben auf den Arbeitsblättern wird gleichzeitig die Lernumgebung klar strukturiert und möglichst lerneffizient gestaltet. Insbesondere das selbständige Durchführen von Experimenten motiviert die SchülerInnen sehr und fordert zur aktiven Beteiligung der Lernenden auf.

Die Unterrichtsmaterialien sind so gestaltet, dass aktive Lernsituationen, in denen die SchülerInnen die Möglichkeit zum selbständigen Manipulieren, Entdecken und Experimentieren haben, geschaffen werden. Die Arbeitsblätter sind so gestaltet, dass neben den *hands-on* Aktivitäten jedoch auch immer *minds-on* Aktivitäten zu lösen sind. Solange die *hands-on* Aktivitäten nicht neue Sichtweisen aufwerfen oder bereits existierende Ideen in Frage stellen, können keine kognitiven Prozesse stattfinden. Verschiedenste Methoden wie Concept-Cartoons, Vorhersagen-Beobachten-Erklären-Einheiten garantieren, dass auch immer nach Erklärungen für beobachtete Phänomene gesucht wird.

Auch in Hinblick auf die Steuerung und Kontrolle des Lernprozesses wird von den Lernenden stärkere Eigenverantwortung gefordert. Nach jeder Unterrichtseinheit sollen sie für sich selber aufschreiben, was sie herausgefunden haben.

#### **- Lernen als sozialer Prozess**

Der überwiegende Teil des Projektunterrichts wird in Kleingruppen durchgeführt, die ein hohes Maß an Interaktion zwischen den SchülerInnen ermöglicht. Die Arbeit in Kleingruppen gibt den SchülerInnen nicht nur die Möglichkeit, ihre eigenen Gedanken und Begründungen zu artikulieren, gleichzeitig fördert es auch das aktive Zuhören, wenn andere Gruppenmitglieder ihre Ideen und Vorschläge teilen. Zusätzlich gibt es immer wieder Phasen, in denen die SchülerInnen einzeln an Problemen arbeiten, um anschließend verschiedene Lösungsansätze in der Gruppe zu diskutieren. Die meisten Projekteinheiten werden durch Diskussionen in der ganzen Klasse, die von der Lehrerin/dem Lehrer angeleitet wird, abgerundet.

### **4.2.2 Lernen im Botanischen Garten**

#### **4.2.2.1 Theoretischer Hintergrund**

Konstruktivistisch orientierte Lernumgebungen lassen sich hervorragend in außerschulischen Lernorten wie Museen, Science Centers oder Botanischen Gärten realisieren. Diese Lernorte eignen sich besonders, inhaltliche und methodische Alternativen zum Unterricht in den Klassen zu bieten, wobei maßgebliche Stärken dieser informellen Lernumgebungen in den zu vermittelnden Primärerfahrungen und der Authentizität dieser Erfahrungen liegen (Wilde 2006).

Falk und Dierking (2000) identifizieren in ihrem kontextuellen Modell des Lernens in informellen Bildungseinrichtungen (z.B. Museen, Botanische Gärten, Ausstellungen,...) drei zentrale Einflussbereiche des Lernens in informellen Bildungseinrichtungen: den soziokulturellen Kontext, den persönlichen Kontext und den gegenständlichen Kontext. Innerhalb dieser drei Kontexte haben Falk und Dierking (2000) acht Prozessmerkmale formuliert, die wesentlich zum Lernen in informellen Bildungseinrichtungen beitragen:

#### **- Individueller Kontext**

1. Motivation und Erwartungen: Menschen gehen aus den verschiedensten Gründen und mit unterschiedlichen Erwartungen in Museen oder botanische Gärten. Wenn diese Erwartungen erfüllt werden, wird Lernen erleichtert, wenn die (meist positiven) Erwartungen und die Realität nicht übereinstimmen, wird Lernen gehemmt.
2. Vorwissen, Interesse und Einstellungen: Vorwissen und Interessen sind zentrale Aspekte für alle kognitiven Prozesse und treffen auch für Lernen in informellen Bildungseinrichtungen zu. Erfahrungen, die in informellen Bildungseinrichtungen gemacht werden, werden in ein Gerüst aus Vorwissen eingebettet und somit wird Bedeutung zugeteilt.

3. Selbst- und Fremdbestimmung der Lernenden: Informelle Bildungseinrichtungen werden meist aus eigener Motivation und Interesse besucht und die BesucherInnen entscheiden selbst, was und wie sie lernen. Führungen sind die Ausnahme, da hier oft die Lerninhalte vorgegeben werden. Doch auch bei geführten Touren muss das Wesen des Lernens in informellen Bildungseinrichtungen berücksichtigt werden. Wenn sich geführte Touren nur durch die neue Umgebung vom Lehren und Lernen in den Klassen unterscheiden, untergraben informelle Bildungseinrichtungen ihren eigenen Erfolg und ihren Mehrwert als Bildungs- und Lerninstitutionen (Falk und Dieking 2000).

- **Soziokultureller Kontext**

4. Wissensvermittlung innerhalb der Lerngruppe: Lernen in informellen Bildungseinrichtungen erfolgt fast immer innerhalb sozialer Gruppen. Nur sehr selten werden Besuche in informellen Bildungseinrichtungen alleine unternommen. Diskussionen innerhalb dieser sozialen Gruppen über das Gesehene (ein Bild, ein ausgestopftes Tier oder eine bestimmte Pflanze) hilft dabei, dem Erlebten eine bestimmte Bedeutung zuzuteilen.
5. Wissensvermittlung durch Personen außerhalb der Lerngruppe: Neben der Diskussion innerhalb der Besuchergruppe kann Lernen auch durch Personen außerhalb dieser Gruppe erleichtert werden. Museums- oder AusstellungsführerInnen, Experten, *Botanic Garden Educators* können das Lernen in informellen Bildungseinrichtungen sehr erleichtern. Unter der Berücksichtigung, dass sich Wissen nicht von einem Gehirn in das andere transportieren lässt, muss dabei jedoch darauf geachtet werden, dass Führungen nicht ausschließlich auf Instruktionen seitens der Experten hinauslaufen, sondern aktive kognitive Leistungen der an den Führungen teilnehmenden Personen gefördert werden.

- **Gegenständlicher Kontext**

6. Strukturierungs- und Orientierungshilfen: Museen, botanische Gärten und andere informelle Bildungseinrichtungen tendieren dazu, eine beinahe unüberschaubare Informationsfülle anzubieten. Sobald sich Besucher orientierungslos fühlen, verlieren sie ihre Fähigkeit sich auf bestimmte Dinge zu fokussieren, was jedoch Voraussetzung für aktives Lernen ist. Deshalb ist es in informellen Bildungseinrichtungen besonders wichtig, durch klare Strukturierung und Orientierung die Fokussierung der Besucher auf bestimmte Aspekte zu unterstützen.
7. Ausstellungsdesign: Lernen in informellen Bildungseinrichtungen ist sehr stark von der Art der Präsentation bestimmter Inhalte abhängig. Was Museen oder botanische Gärten von anderen Informationsmedien unterscheidet, ist die Authentizität der Lernumgebung. Diese Authentizität kann jedoch durch ein Ausstellungsdesign, welches sich sehr am Lernen in formellen Bildungseinrichtungen orientiert, verloren gehen. Deshalb ist es für informelle Bildungseinrichtungen besonders wichtig, ihr Ausstellungsdesign an ihren speziellen Möglichkeiten, authentische Primärerfahrungen zu ermöglichen, zu orientieren.
8. Erfahrungen außerhalb des Museums, welche die Museumserfahrungen ergänzen und verstärken: Lernen berücksichtigt keine institutionellen Grenzen und Lernen in informellen Kontexten ist dabei keine Ausnahme. BesucherInnen kommen mit einer bestimmten Vorstellung in ein Museum oder in einen

Botanischen Garten und verlassen es/ihn mit (hoffentlich) neuen Erkenntnissen. Oft werden diese Erkenntnisse möglicherweise erst Wochen, Monate oder Jahre später durch Erfahrungen in einem ganz anderen Kontext mit Bedeutungen für den eigenen Alltag versehen.

Falk und Dierking (2000) gehen davon aus, dass wenn einer dieser acht Faktoren vernachlässigt wird, Lernen in informellen Bildungseinrichtungen erschwert wird. Eine Gegenüberstellung der Prozessmerkmale des Lernens vor einem gemäßigt konstruktivistischen Hintergrund (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001) und der acht Schlüsselfaktoren der Kontexttheorie des Lernens in informellen Bildungseinrichtungen (Falk und Dierking 2000) zeigt, dass sich nach diesen zwei Modellen Lernen in formellen und informellen Bildungseinrichtungen in den wesentlichen Prozessmerkmalen nicht unterscheidet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Gegenüberstellung von Prozessmerkmalen gemäßigt konstruktivistischer Lerntheorien und Prozessmerkmale des Lernens in informellen Bildungseinrichtungen nach der Kontexttheorie

<b>Prozessmerkmale des Lernens vor einem gemäßigt konstruktivistischen Hintergrund (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001)</b>	<b>Prozessmerkmale des Lernens in informellen Bildungseinrichtungen (Falk und Dierking 2000)</b>
<p><b>Lernen ist ein sozialer Prozess</b></p> <p>Interaktion ist Voraussetzung für aktives Lernen</p>	<p><b>Soziokultureller Kontext</b></p> <p>Interaktion innerhalb einer Lerngruppe bzw. Mediation durch einen Experten</p>
<p><b>Lernen ist ein aktiver Prozess</b></p> <p>Intrinsische Motivation durch situiertes Interesse ist Voraussetzung für aktives Lernen</p>	<p><b>Individueller Kontext</b></p> <p>Motivation und Erwartungen Interesse und Einstellungen</p>
<p><b>Lernen ist ein konstruktiver Prozess</b></p> <p>Jedes Lernen baut auf bereits vorhandenen Erkenntnissen auf. Lernen heißt Verbindungen zu bereits Bekanntem herstellen</p>	<p><b>Individueller Kontext</b></p> <p>Vorwissen</p> <p><b>Gegenständlicher Kontext</b></p> <p>Erfahrungen außerhalb des Museums</p>
<p><b>Lernen ist ein selbstgesteuerter Prozess</b></p> <p>Balance zwischen Autonomie des Lernenden und strukturierenden Elementen der Lernumgebung</p>	<p><b>Individueller Kontext</b></p> <p>Selbst- und Fremdbestimmung</p> <p><b>Gegenständlicher Kontext</b></p> <p>Strukturierungs-/Orientierungshilfen Ausstellungsdesign</p>
<p><b>Lernen ist ein situativer Prozess</b></p> <p>Lernen erfolgt stets in spezifischen Kontexten, die den Lernenden erst den Interpretationshintergrund für ihre eigene subjektive Konstruktion bietet</p>	<p><b>Gegenständlicher Kontext</b></p> <p>Strukturierungs-/Orientierungshilfen Ausstellungsdesign Erfahrungen außerhalb des Museums</p>

Der soziokulturelle Kontext des kontextuellen Modells des Lernens in informellen Bildungseinrichtungen (Falk und Dierking 2000) entspricht weitgehend Reinmann-Rothmeier und Mandls (2001) „Lernen als sozialer Prozess“. Ohne Interaktion – sei es innerhalb von Peergroups oder mit einem Experten – können Lernprozesse nur sehr schwer stattfinden.

„Lernen als aktiver Prozess“ und „Lernen als selbstgesteuerter Prozess“ (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001) spiegeln sich weitgehend im individuellen Kontext des Modells von Falk und Dierking (2000) wieder. Um effektiv zu lernen, müssen die Lernenden ein situatives Interesse für das zu Lernende entwickeln und die Möglichkeit haben, in strukturierten Lernumgebungen eigene kognitive Prozesse selbständig zu steuern.

„Lernen als konstruktiver Prozess“ (Reithmann-Rothmeier 2001) findet sich in Merkmalen des individuellen und des gegenständlichen Kontextes (Falk und Dierking 2000) wieder. Lernen baut immer auf bereits vorhandenem Wissen oder Erfahrungen auf. Gleichzeitig wird das in der Schule oder in informellen Bildungseinrichtungen Erfahrene, oft erst Wochen oder Monate später durch Ereignisse außerhalb der Schule und des Museums oder Botanischen Gartens mit Bedeutung versehen.

„Lernen als situativer Prozess“ (Reithmann-Rothmeier 2001) spiegelt sich in den Faktoren des gegenständlichen Kontextes von Falk und Dierking (2000). Durch Strukturierungs- und Orientierungshilfen bzw. dem Ausstellungsdesign wird der Kontext und Interpretationshintergrund für eigene konstruktive Leistungen der Lernenden geboten.

#### **4.2.2.2 Von der Theorie zur Praxis**

Botanische Gärten haben den Wow-Faktor. Sie zeigen Pflanzen (z.B. exotische Nutzpflanzen, fleischfressende Pflanzen) die für die meisten Personen spannender sind als die Kartoffel oder Geranie im eigenen Garten oder die Buchen und Fichten im benachbarten Wald. Dieser Wow-Effekt bewirkt, dass ein Besuch in den botanischen Garten auch meistens nachhaltig in Erinnerung bleibt und sowohl LehrerInnen als auch SchülerInnen ein sehr positives Bild von ihrem Besuch im Botanischen Garten behalten.

Eigene Beobachtungen bei Führungen in verschiedenen Botanischen Gärten und aktuelle Studien zu geführten Touren in informellen Lernumgebungen (Allen 2004, Bowker 2002a, Bowker 2002b Cox-Petersen et. al 2003, Falk 2003, Falk 2004, Falk 2005, Griffin und Symington 1997, Rennie 2003, Rennie 2004) zeigen jedoch, dass dieser Wow-Faktor, der zu einer hohen Lernmotivation führt, teilweise nur sub-optimal genutzt wird, um aktives Lernen in informellen Lernumgebungen zu erleichtern.

Bei vielen Führungen werden lehrerInnen- bzw. betreuerInnenzentrierte, narrative Unterrichtsmethoden verwendet, die BetreuerInnen sind meist VermittlerInnen von Wissen anstatt MediatorInnen des eigenen Wissenserwerbs seitens der SchülerInnen. Gruppenarbeiten werden vernachlässigt. Es werden also Vermittlungsmethoden verwendet, die denen in formellen Bildungseinrichtungen entsprechen.

Zusätzlich kommt es nur in den seltensten Fällen zur einer Vor- und Nachbereitung in der Schule, wodurch der Besuch einer informellen Bildungsinstitution meist zu einer „netten“ Abwechslung vom „richtigen“ Unterricht in der Schule wird, der mit diesem jedoch wenig zu tun hat.

Die didaktische Aufarbeitung bei vielen geführten Touren in informellen Bildungseinrichtungen steht somit im Gegensatz zu aktuellen Forschungsergebnissen über effektives Lernen in informellen Lernumgebungen.

Die im Rahmen des EU Projektes Plant Science Gardens entwickelten Unterrichtsmaterialien zielen darauf ab, die Möglichkeiten, die ein Botanischer Garten beim Vermitteln pflanzenbezogener Themen bietet, in den Regelunterricht zu integrieren. Der Besuch des botanischen Gartens baut auf einer Vorbereitung in der Schule auf und wird durch Nachbearbeitung in der Schule vertieft.

Die SchülerInnen kommen also bereits mit einem bestimmten Vorwissen in den botanischen Garten. Durch die aktive unterrichtliche Vorbereitung wird jedoch nicht nur ein bestimmtes Vorwissen erarbeitet, sondern auch Erwartungen konkretisiert und die Motivation für den Besuch des botanischen Gartens gesteigert. Der individuelle Kontext in Falk und Dierkings (2000) Modell des kontextuellen Lernens wird somit berücksichtigt.

Im botanischen Garten sind Teile der Aufgaben so gestellt, dass die SchülerInnen in Kleingruppen (4-5) verschiedene Experimente selbständig durchführen (z.B. Stärkenachweis in panaschierten oder teilweise abgedeckten Blättern) und anschließend die Versuchsanordnung, die Ergebnisse und ihre Interpretation der Ergebnisse der jeweils anderen Gruppe vorstellen und vice-versa. Diese Methode folgt der Grundidee des Lernens durch Lehren (Renkl 1997).

Selbständiges Erkunden des botanischen Gartens und der Gewächshäuser sind ebenso Teil des Besuches des botanischen Gartens wie Experimente, die durch die Betreuerin/den Betreuer angeleitet werden. Es ist also ein hohes Maß an sozialer Interaktion zwischen den SchülerInnen untereinander einerseits und den SchülerInnen und der BetreuerInnen andererseits gegeben. Somit wird auch der soziokulturelle Aspekt des Lernens in Falk und Dierkings (2000) Modell des kontextuellen Lernens berücksichtigt.

Durch strukturierende Hinweise auf den Arbeitsblättern und die Nachbearbeitung des Erlebten in der Schule wurde auch dem gegenständlichen Kontext in Falk und Dierkings (2000) Modell Rechnung getragen.

Durch eine engere Zusammenarbeit der Schulen mit dem botanischen Garten profitieren sowohl die Schule aufgrund der inhaltlichen und methodischen Alternativen zum Unterricht in der Klasse als auch die botanischen Gärten, da durch eine Vor- und Nachbereitung der im Garten vermittelten Inhalte, der botanische Garten nicht nur als nettes Ausflugsziel, sondern als aktive und attraktive Lernumgebung wahrgenommen wird.

### **4.3 Überblick über die erstellten Unterrichtsmaterialien**

In Österreich wird Fotosynthese hauptsächlich ab der Sekundarstufe 1 unterrichtet. Oft wird Fotosynthese in der ersten Klasse Gymnasium oder Hauptschule unterrichtet, doch auch in manchen Sachunterrichtsbüchern findet sich das Thema Fotosynthese bereits. Dabei wird Fotosynthese oft als biochemische Gleichung vermittelt, bei der aus Wasser und Kohlendioxid in der Anwesenheit von Licht und Blattgrün, Zucker und Sauerstoff entstehen. Diese Vermittlung halte ich jedoch für eine wenig zielführende und gerade diese Art der Vermittlung führt möglicherweise dazu, dass das Thema Fotosynthese von vielen SchülerInnen nicht sinngreifend verstanden wird (2.1.3.1). Meiner Meinung nach sollte Fotosynthese nicht als biochemische Reaktion vermittelt werden. Stattdessen sollte die Vermittlung an den täglichen Erfahrungen der jungen Lernenden zum Thema Pflanzenwachstum und Luft anknüpfen, diese Vorstellungen aufgreifen und weiterentwickeln. Auf jeden Fall sollte Fotosynthese im Kontext Pflanzenwachstum unterrichtet werden. Das heißt, die Vermittlung darf nicht bei Zucker und Sauerstoff als Endprodukte der Fotosynthese enden, sondern stellt die Verknüpfung zwischen Zucker, Bodenmineralien und Pflanzenwachstum her. Nur auf diese Weise können die SchülerInnen ihre täglichen makro-phänomenologischen Beobachtungen zum Thema

Pflanzenwachstum mit den mikro-konzeptuellen Erklärungen zum Thema Fotosynthese verknüpfen und somit ihre Alltagserklärungen zu wissenschaftlich anerkannten Erklärungen weiterentwickeln.

Bei den erstellten Unterrichtsmaterialien wird das Thema Fotosynthese und Pflanzenwachstum in 10 Modulen vermittelt. Die Module dauern zwischen 50 und 100 Minuten. In den ersten fünf Modulen helfen verschiedene Experimente, die Zusammensetzung der Luft, den Unterschied zwischen Einatemungs- und Ausatemungs- und die Bedeutung von Pflanzen als Sauerstoffherzeuger und ihre Fähigkeit, Kohlendioxid aufzunehmen, zu verstehen. Wie Pflanzenwachstum und Fotosynthese zusammenhängen wird in den Modulen 6 – 10 vermittelt. Dabei wird Fotosynthese als Nahrungsproduktion für die Pflanze vermittelt, bei der Zucker gebildet wird, der dann gemeinsam mit Bodenmineralien für das Pflanzenwachstum notwendig ist.

Die Unterrichtsmaterialien setzen sich aus den Arbeitsblättern für die SchülerInnen und Informationen für die LehrerInnen zusammen. Die Informationen für die LehrerInnen bestehen aus Informationen zu Dauer der Unterrichtseinheit und den benötigten Materialien, den Lehr- und Lernzielen, einem vorgeschlagenen Unterrichtsverlauf und den notwendigen Hintergrundinformationen. Während in den Hintergrundinformationen hauptsächlich fachliche Informationen kurz zusammengefasst werden, fließen in dem vorgeschlagenen Unterrichtsverlauf hauptsächlich fachdidaktische und methodische Hinweise ein (Abbildung 6).

Wie Pflanzen wachsen

**MODUL 2. LERNBLATT A 3/4**

### Wir atmen Kohlendioxid aus

**ZEIT**  
80 Min

**MATERIAL/GRUPPE**  
2 Gasbehälter  
2 Strohhalm  
1 Fahrradpumpe  
Knetmasse  
10% Kalilauge (KOH)  
Farbindikator  
(1% Pherolphthaleinlösung)  
Pipette  
Eppendorf Behälter  
KOH und Pherolphthalein sind fixe Bestandteile von Chemielästen für Kinder

Kopien der Lernblätter A3, A4

**FERTIGKEITEN**  
Genaueres Arbeiten mit Pipette  
Beobachten

**SCHLÜSSELWORTE**  
Ausatemungsluft  
Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)  
Sauerstoff (O<sub>2</sub>)  
Einatemungsluft

**FÄCHERÜBERGREIFENDE AKTIVITÄT**  
Mathematik  
Sachunterricht  
(Natur/Technik)

**Einleitung**

Die Schülerinnen wissen bereits, dass die ausgeatmete Luft weniger Sauerstoff enthält als die Umgebungsluft. Mit folgendem Versuch kann auf anschauliche Weise getestet werden, ob mehr CO<sub>2</sub> in der ausgeatmeten Luft ist. (Eir Filmzum Versuch ist in der Mediengalerie, 'Wie Pflanzen wachsen', Modul 2 zu finden)

**Lernziele**

SchülerInnen verstehen, dass die Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid und weniger Sauerstoff enthält als die Einatemungsluft.

**Unterrichtsverlauf**

1. Teile die Klasse in Gruppen ein und teile Lernblatt A3 aus. Wiederholung der Zusammensetzung der Luft. Die SchülerInnen zeichnen in Farbe die verschiedenen Anteile der Umgebungsluft in Lernblatt A3 ein. Frage nach den fehlenden 5% Sauerstoff in der Ausatemungsluft. Was ist stattdessen in der Luft? Was glauben die SchülerInnen? Wie könnte man das herausfinden? Dazu gibt es in den Laboratorien spezielle Geräte (Infrarotgasanalyzator, Sauerstoffelektrode). Da wir kein Gerät haben, machen wir folgenden Versuch.
2. Erkläre den SchülerInnen, dass wir mit diesem Versuch testen können, ob in der Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid ist. **Dazu mischen wir uns eine rosa Flüssigkeit, die ihre Farbe ändert, wenn sie mit Kohlendioxid in Berührung kommt.**
3. Teile die benötigten Materialien (außer Chemikalien und Luftpumpe) aus.
4. Die meisten SchülerInnen arbeiten das erste Mal mit einer Pipette und sollten deshalb die Möglichkeit haben, deren Verwendung zu üben. Dazu füllen die SchülerInnen 200 ml Wasser in beide Glasbehälter und probieren aus, wie man Wasser mithilfe der Pipette aufsaugen und anschließend wieder **tropfenweise** abgeben kann.
5. Erkläre den SchülerInnen, dass wir nun mit Chemikalien arbeiten und es deshalb sehr wichtig ist, genau und vorsichtig zu arbeiten. Die SchülerInnen sollen Handschuhe anziehen. Wenn Flüssigkeiten in den Pipetten überfließen, werfen sie wieder zurück in die kleinen Eppendorf-Gefäße getropft. Teile nun die Chemikalien aus.
6. SchülerInnen stellen mithilfe der Anweisungen auf dem Arbeitsblatt die rosaroten Flüssigkeiten her.
7. Bevor der Versuch durchgeführt wird, soll noch einmal besprochen werden, was wir mit dem Versuch herausfinden wollen. WissenschaftlerInnen machen Experimente, um etwas herauszufinden bzw. zu beweisen. **Wir wollen herausfinden, ob in der Ausatemungsluft mehr oder weniger CO<sub>2</sub> ist als in der Umgebungsluft.** Dabei hilft uns die rosa Flüssigkeit.
8. SchülerInnen führen den ersten Teil des Versuches durch. Gemeinsam wird diskutiert, was geschehen ist und warum es passiert ist.
9. SchülerInnen sollen nun alleine überlegen, wie sie Umgebungsluft in das zweite Gefäß bekommen könnten. Lasse die SchülerInnen 5 min selbständig probieren. Sammelt gemeinsam einige Ideen.

Abbildung 6: Beispiel für Information für die LehrerInnen

Ich möchte an dieser Stelle die Unterrichtsmaterialien nur kurz und stichwortartig beschreiben. Die kompletten Unterrichtsmaterialien können im Anhang (10.4) eingesehen werden.

In **Modul 1** finden die SchülerInnen durch zwei einfache Experimente mit einer Kerze, einem Strohhalm, einem Becher und einer Stoppuhr heraus, dass in der Ausatemluft weniger Sauerstoff ist als in der Einatemluft (Abbildung 7).



Abbildung 7: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 1: die brennende Kerze): a, b, e, f, g: SchülerInnen bei Versuchen zu Sauerstoffgehalt in Umgebungsluft und Ausatemluft; c: Ergebnisse der einzelnen Gruppen werden verglichen; d: Zusammensetzung der Luft wird an der Tafel erarbeitet.

In **Modul 2** finden die SchülerInnen durch ein weiteres Experiment heraus, dass in der Ausatemluft mehr Kohlendioxid ist als in der Einatemluft. Dazu werden mit Hilfe von Kaliumhydroxidlösung (KOH) zwei idente, leicht basische Flüssigkeiten hergestellt und mit dem Indikator Phenolphthalein rosa eingefärbt. Phenolphthalein ist im basischen Bereich rosa, im neutralen oder leicht sauren Bereich ist der Indikator farblos. Wenn über einen Strohhalm kohlendioxidreiche Ausatemluft in die leicht basische Flüssigkeit geblasen wird, reagiert Kohlendioxid mit der leicht basischen Lösung. Es entsteht Kohlensäure, die basische Flüssigkeit wird neutralisiert und die Flüssigkeit entfärbt sich (Abbildung 8).



Abbildung 8: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 2: Kohlendioxidgehalt in Ausatemluft). a, d: Herstellen zweier identer Indikatorlösungen; b: Vorhersagen treffen; c: Ausatemluft wird in Indikatorlösung geblasen; e-i: wie kriege ich Umgebungsluft in die Indikatorlösung: durch Fächern, mithilfe der Pipette, mit einem mit Luft gefüllten Schnapsglas, mit Hilfe einer Nylontasche oder vielleicht doch mit einer Luftpumpe.

Um klar sagen zu können, ob in der Ausatemluft mehr Kohlendioxid ist, als in der Einatemluft, ist ein Vergleichswert notwendig. Wird über eine Pumpe kohlendioxidarme Umgebungs- oder Einatemluft in die Flüssigkeit gepumpt, bleibt diese rosa bzw. verfärbt sich nur sehr langsam. Damit können die SchülerInnen nachweisen, dass in der Ausatemluft wesentlich mehr Kohlendioxid ist als in der Umgebungs- bzw. Einatemluft.

Aufbauend auf dem Wissen der SchülerInnen, dass Menschen und auch Tiere bei der Atmung ständig Sauerstoff aus der Luft aufnehmen und Kohlendioxid abgeben, wird anschließend in **Modul 3** diskutiert, warum der Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt in der Luft relativ stabil bleibt. Dazu wird mit den SchülerInnen ein historisches Experiment diskutiert, mit dem Joseph Priestley herausgefunden hat, dass Pflanzen Kohlendioxid aufnehmen und Sauerstoff abgeben. Dazu hat Priestley in zwei Gefäßen Ausatemluft gesammelt. In ein Gefäß hat er eine Pflanze hineingestellt. Sieben Tage später hat Priestley in beide Gefäße eine Maus gesetzt. Während die Maus in dem Gefäß ohne Pflanze erstickte, lebte die Maus in dem Gefäß mit der Pflanze unbekümmert, bis Priestley die Maus wieder herausnahm. Priestley's Experiment wurde anhand eines Briefes, den Priestley 1772 an seinen Freund Benjamin Franklin schrieb und mit zwei verschließbaren Gefäßen, einer Pflanze und zwei Stoffmäusen nachgespielt (Abbildung 9)



Abbildung 9: Nachspielen von Priestley's historischem Experiment.

In **Modul 4** zählen die SchülerInnen, wie viele Sauerstoffbläschen von einem Wasserpestspross pro Minute produziert werden und planen Experimente, bei denen sie herausfinden, welchen Einfluss die Faktoren Lichtintensität und Kohlendioxidgehalt auf die Sauerstoffproduktion der Pflanzen haben (Abbildung 10).



Abbildung 10: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 4: Sauerstoffproduktion der Wasserpest); a, b: Sauerstoffproduktion in destilliertem Wasser, Leitungswasser und Mineralwasser; c, d: Sauerstoffproduktion bei Licht; e-f: Sauerstoffproduktion in der Dunkelheit (ob man bei Bild g und h die Sauerstoffproduktion beobachten kann, bleibt offen).

In **Modul 5** stecken die SchülerInnen eine Grünfläche ab, die groß genug ist, um den täglichen Sauerstoffbedarf eines Erwachsenen zu decken (Abbildung 11). In diesem Modul wird auch die Rolle der Meeresalgen und der Regenwälder für die Sauerstoffproduktion diskutiert.



Abbildung 11: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 5: mein eigener Sauerstoffverbrauch). a: Vorhersagen treffen – wie groß muss eine Grünfläche sein, die genug Sauerstoff produziert, damit ein erwachsener Mensch 24 Stunden atmen kann? b: Abmessen des benötigten Flächenumfangs; c: Abstecken der Flächen; d-f: Durchatmen (die Sauerstoffproduktion der Fläche in Bild f wird wohl eher nicht für 24 Stunden reichen).

In **Modul 6** wird mithilfe einer Bildgeschichte erarbeitet, dass sich Pflanzen nicht ausschließlich über den Boden ernähren können, sondern dass sie nur wenige Gramm Bodenmineralien zum Wachsen brauchen. Die SchülerInnen bringen die Bildgeschichte in die richtige Reihenfolge und überlegen, welche Aussage man aufgrund dieser Geschichte treffen kann (Abbildung 12). Anschließend wird mit den SchülerInnen diskutiert, welche Erklärungsversuche es in den letzten 2000 Jahren für das Pflanzenwachstum gegeben hat. Aristoteles (384-322 v. Ch.) war der Meinung, dass sich Pflanzen über den Boden ernähren. Diese Annahmen konnte Johan van Helmont (1580-1644) mit einem Experiment wiederlegen. Die Bildgeschichte basiert auf diesem Experiment. Helmont war nach seinem Experiment der Meinung, dass die Pflanzen durch die Wasseraufnahme wachsen. Stephen Hales (1677-1761) war der Meinung, dass die Pflanzen durch die Aufnahmen von Kohlendioxid wachsen.

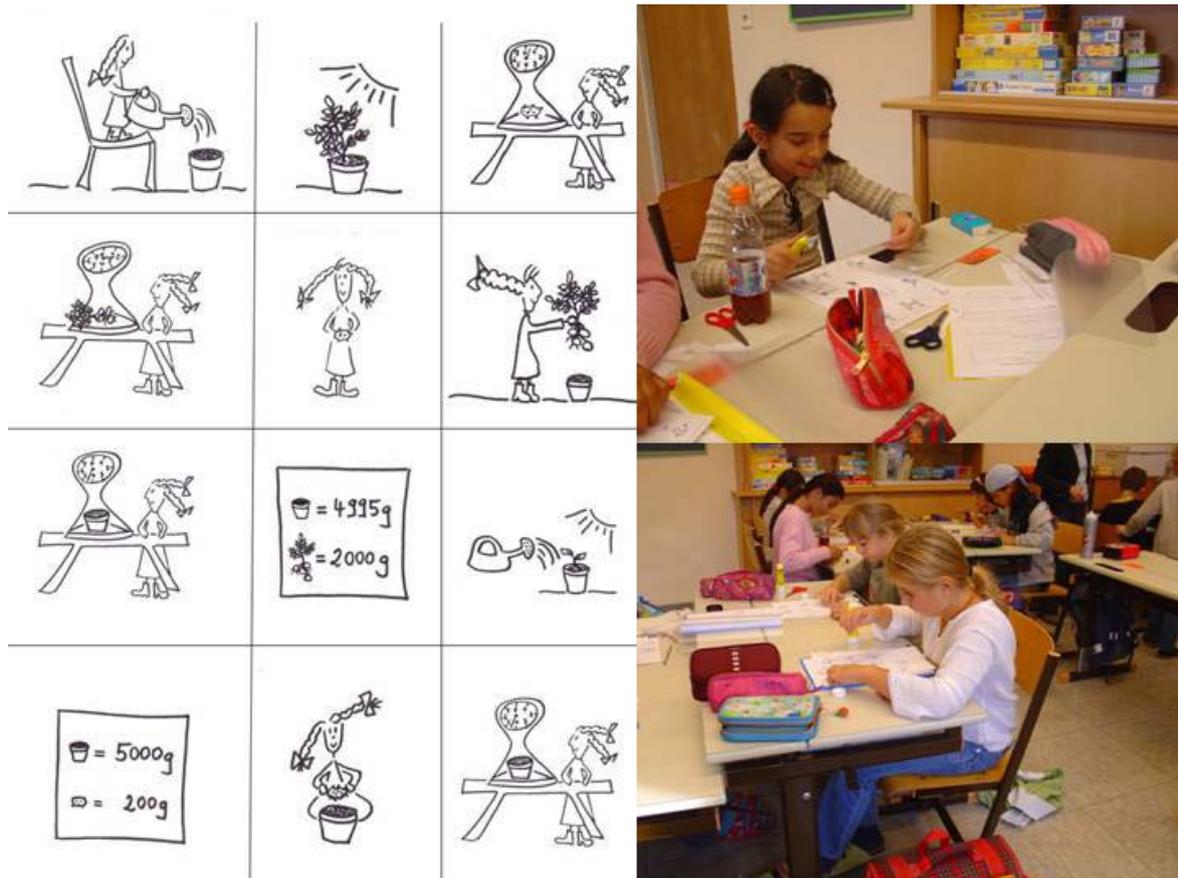


Abbildung 12: Bildgeschichte zur Bedeutung des Bodens für das Pflanzenwachstum; die Bilder wurden von den SchülerInnen ausgeschnitten und in die richtige Reihenfolge gebracht.

In **Modul 7** wird durch einen fragend-entwickelnden Unterricht die Fotosynthesegleichung erstellt und der Zusammenhang zwischen Zucker, Bodenmineralien und Pflanzenwachstum geklärt. Ich entschied mich für einen linearen Vermittlungsprozess, der folgendem Schema folgt: die Pflanze benötigt Licht, Wasser, Kohlendioxid und Blattgrün, um Zucker herzustellen. Dieser Prozess nennt sich Fotosynthese. Zucker ist die Nahrung der Pflanzen, welche gemeinsam mit wenigen Gramm Bodenmineralien für das Pflanzenwachstum zuständig ist.

Diesen linearen Vermittlungsprozess halte ich für eine altersgemäße Form, das komplexe Thema Fotosynthese zu vermitteln. Natürlich bleiben durch diese vereinfachte

Vermittlungsform auch noch etliche Fragen offen. Bei dieser Art der Vermittlung wird zum Beispiel Fotosynthese als Input-Output-Modell gesehen, bei der aus Sonnenlicht, Wasser Kohlendioxid und Blattgrün, Zucker und Sauerstoff entsteht, was nicht ganz korrekt ist. Korrekt wäre, dass Wasser und Kohlendioxid mithilfe der Sonnenenergie und Blattgrün in Zucker umgewandelt wird. Nur Wasser und Kohlendioxid sind Teil der chemischen Reaktion, Sonnenlicht stellt die für die chemische Reaktion erforderliche Energie zur Verfügung. Die biochemischen Prozesse der Fotosynthese inklusive der Reaktionsgleichung können jedoch erst verstanden werden, wenn ein chemisches Basiswissen vorhanden ist, in Österreich also frühestens in der Sekundarstufe 2.

Bei der Fotosynthese wird Sonnenenergie in speicherbare Energie in Form von Zucker gespeichert. Diese Energie wird in weiterer Folge für das Pflanzenwachstum verwendet. Das Konzept „Energie“ ist sehr komplex und bereitet auch älteren SchülerInnen oft große Probleme (Carlson 2002a, Carlson 2002b). Meiner Meinung nach ist das Konzept „Energie“ in der Volksschule nur sehr schwer sinnergreifend vermittelbar. Deshalb wird in den Unterrichtsmaterialien der energetische Aspekt der Fotosynthese nicht behandelt. Dieser Aspekt kann erst dann sinnergreifend vermittelt werden, wenn die SchülerInnen bereits wissen, dass Energie in verschiedenen Formen besteht, dass Energie auf der Erde weder erzeugt noch zerstört werden kann und dass Energie von einer Form in eine andere umgewandelt werden kann. Aus diesem Grund halte ich in Bezug auf die energetischen Aspekte der Fotosynthese eine Vertiefung erst in der Sekundarstufe 2 für sinnvoll.

**Modul 8** findet im Botanischen Garten statt. Anknüpfend an Modul 7 wiederholen die SchülerInnen im Botanischen Garten noch einmal die Fotosynthesegleichung und den Zusammenhang zwischen Fotosynthese und Pflanzenwachstum und erstellen ein Plakat dazu. Anschließend führen sie zwei Experimente zu den Faktoren Licht und Blattgrün durch. Dazu machen die SchülerInnen den Stärkenachweis in panaschierten und partiell durch Kartonplättchen verdunkelten Blättern. Abschließend gehen die SchülerInnen der Frage nach, warum auch Pflanzen mit roten Blättern Fotosynthese betreiben können, suchen im Botanischen Garten Pflanzen mit roten Blättern und isolieren Chlorophyll aus roten Blättern (Abbildung 13).



Abbildung 13: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 8: Stärkenachweis und die Bedeutung von Blattgrün im Botanischen Garten); a, b: Wiederholung der Inhalte aus Modul 7; c: Versuchsauswertung des Stärkenachweises in panaschierten Blättern; d: Kochender Alkohol stinkt; e: Stärkenachweis in teilweise abgedunkelten Blättern; f: auch in roten Blättern ist Blattgrün vorhanden

**Modul 9** findet ebenfalls im Botanischen Garten statt. Dieses Modul wurde nicht von mir entwickelt, sondern von Suzanne Kapelari. In diesem Modul wird der Frage nachgegangen, wie die Pflanzen das Wasser, das sie über die Wurzeln aufnehmen in die Blätter transportieren. Blattnerven werden untersucht, freigelegt und anschließend analysiert. Zusätzlich wird demonstriert, dass Seerosen die Spaltöffnungen, über die sie Sauerstoff abgeben und Kohlendioxid aufnehmen, an der Blattoberfläche – und nicht wie die meisten Pflanzen an der Blattunterfläche - haben (Abbildung 14).



Abbildung 14: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 9: wie kommt Wasser und Kohlendioxid ins Blatt; a, b: SchülerInnen auf der Suche nach Blattnerven; c, d, f, g: SchülerInnen beim Isolieren und Mikroskopieren der Blattnerven; e: Nachweis der Spaltöffnungen in einem Seerosenblatt.

**Modul 10** dient als Wissenssicherung und Wiederholung. Die SchülerInnen erstellen *concept maps* (4.4.4) mit den wichtigsten Schlüsselbegriffen, die während des Projektunterrichtes erarbeitet wurden. Anschließend werden Fotos der Experimente den zu den Fotos passenden Begriffen in der *concept map* zugeordnet. Dadurch werden die SchülerInnen noch einmal angeregt zu überlegen, was sie denn mit den auf den Fotos abgebildeten Experimenten herausgefunden haben und zu welchem Begriff in der *concept map* dieses Foto passt (Abbildung 15).



Abbildung 15: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 10: Evidence mapping); a-d: SchülerInnen beim Erstellen der *concept maps*; e: SchülerInnen beim Zuordnen der Fotos zur *concept map*; f: Schülerinnen präsentieren ihre *evidence map* in der Klasse.

Die erstellten Unterrichtsmaterialien sind ein erster Schritt, das Thema Fotosynthese zu verstehen. Dabei knüpfen die Unterrichtsmaterialien an den Alltagsvorstellungen der SchülerInnen zum Thema Luft und Pflanzenwachstum an und Fotosynthese wird als Nahrungsproduktion der Pflanze vermittelt. Die energetischen und biochemischen Aspekte der Fotosynthese wurden in den Unterrichtsmaterialien nicht behandelt, da diese Aspekte ein Verständnis einfacher chemischer und physikalischer Konzepte voraussetzen. Dies ist in der Volksschule – aber auch in der Sekundarstufe 1 – noch nicht gegeben.

#### **4.4 Verwendete methodische Ansätze**

Den Unterrichtsmaterialien liegt ein kompetenzorientierter Ansatz zu Grunde, der darauf abzielt, dass neben Sachkompetenz auch die kognitive, methodische und epistemologische Kompetenz der SchülerInnen gefördert und weiterentwickelt wird (2.1.3). Methodische Vielfalt der Lehr- und Lernprozesse ist unabdingbar, um die verschiedenen Kompetenzen zu fördern. Den Unterrichtsmaterialien liegen eine Reihe von methodischen Ansätzen zu Grunde, die speziell darauf abzielen, diese Kompetenzen zu fördern.

##### **4.4.1 Forschend-entwickelndes Lernen**

Im forschend-entwickelnden Unterricht nach Schmidkunz/Lindemann (2003) ist die Unterrichtsartikulation stark am Lernprozess des Problemlösens orientiert. Es werden Problemsituationen geschaffen oder in der Interaktion mit den SchülerInnen auftretende Fragen oder Probleme aufgegriffen und mit schulmöglichen Methoden wird eine Lösung dieses Problems angestrebt. Schmidkunz und Lindemann (2003) unterteilen den Unterrichtsablauf im forschend-entwickelnden Unterricht in unterschiedliche „Denkstufen“:

##### **1. Denkstufe: Problemgewinnung**

Diese Denkstufe dient dazu, ein Problem im Bewusstsein der Lernenden entstehen zu lassen, es zu erkennen und schließlich zu formulieren. Das Problem kann dabei durch einen Vortrag der Lehrerin/des Lehrers, ein LehrerIn-SchülerIn-Gespräch oder ein SchülerIn-SchülerIn-Gespräch generiert werden. Egal wie die Problemstellung generiert wird, sollte es durch geschickte Führung der Lehrerin/des Lehrers gelingen, bei den SchülerInnen ein situatives Interesse für das Problem und die Problemlösung zu schaffen.

##### **2. Denkstufe: Überlegungen zur Problemlösung**

Nachdem das Problem den Lernenden bewusst und formuliert worden ist, ist es in dieser Phase wichtig, dass die/der Lernende sein bisheriges Wissen überblickt und die zur Lösung des Problems erforderlichen Kenntnisse bereitstellt (Schmidkunz und Lindemann 2003). Diese Denkstufe enthält das Formulieren von Hypothesen, das Erarbeiten von möglichen Lösungsvorschlägen und die Entscheidung für einen bestimmten Lösungsvorschlag. Die SchülerInnen haben wahrscheinlich verschiedene Lösungsvorschläge. Auch wenn die oder der Lehrende den richtigen Lösungsvorschlag kennt, ist es wichtig, die Schülervorschläge nicht als falsch oder richtig zu kategorisieren, da somit der aktive Forschungsprozess der Lernenden unterbrochen wird und somit der Sinn des forschend-entwickelnden Lernens verfehlt wird. Die Einsicht, dass eine bestimmte Versuchsplanung nicht zu einem gültigen Ergebnis führt, ist ein wertvoller Output und kann als Basis für eine Diskussion über den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn und die wissenschaftliche Arbeitsweise genutzt werden.

### **3. Denkstufe: Durchführung eines Lösungsvorschlages**

In dieser Stufe wird der Lösungsvorschlag, auf den sich die SchülerInnen geeinigt haben, geplant, durchgeführt und evaluiert. Die Lösung des Problems wird im naturwissenschaftlichen Unterricht oft durch ein Experiment erfolgen. In dieser Phase treffen die SchülerInnen Entscheidungen über die benötigten Materialien und über den Aufbau der Versuchsanordnung. Das Experiment wird durchgeführt und Beobachtungen werden notiert. Bei der Evaluation der Ergebnisse überlegen die SchülerInnen, wie die Daten geordnet und verglichen werden können. Was ist wesentlich? Was ist zufällig? Wird die Hypothese bestätigt oder muss sie verworfen werden?

### **4. Denkstufe: Abstraktion der gewonnenen Erkenntnisse**

Diese Denkstufe dient dem Ordnen der Daten und dem Ziehen von Schlussfolgerungen. Schmidkunz und Lindemann (2003) unterscheiden drei Arten von Abstraktion: die ikonische Abstraktion, die verbale Abstraktion und die symbolhafte Abstraktion. Bei der ikonischen Abstraktion werden anschauliche Darstellungen der Versuchsergebnisse (Skizzen, Grafiken) erstellt. Bei der verbalen Abstraktion werden die Resultate des Forschungsprozesses und dessen Erklärungen in Worte gefasst. Bei der symbolhaften Abstraktion werden Sachverhalte einerseits quantitativ, mathematisch dargestellt (Tabellen) oder in Form einer symbolhaften Abstraktion (z.B. Reaktionsgleichung).

### **5. Denkstufe: Wissenssicherung**

Diese Denkstufe dient der Wissenssicherung und -kontrolle. Dies kann durch das Finden von Anwendungsbeispielen, durch Wiederholung des Erlernten oder durch eine Lernzielkontrolle stattfinden (Schmidkunz und Lindemann 2003).

Am Beispiel des in Modul 4 zu erarbeitenden Versuchs mit der Wasserpest möchte ich kurz darstellen, wie die forschend-entwickelnde Methode mit Hilfe der erstellten Unterrichtsmaterialien umgesetzt werden kann.

Mit Hilfe eines *concept cartoons* (4.4.3.2) wird ein Problem dargestellt. Drei Kinder stehen unter einem Baum und sind sich uneinig, ob eine Pflanze nur bei Nacht, am Tag und in der Nacht oder nur untertags Sauerstoff produziert (1. Stufe: Problemgewinnung).

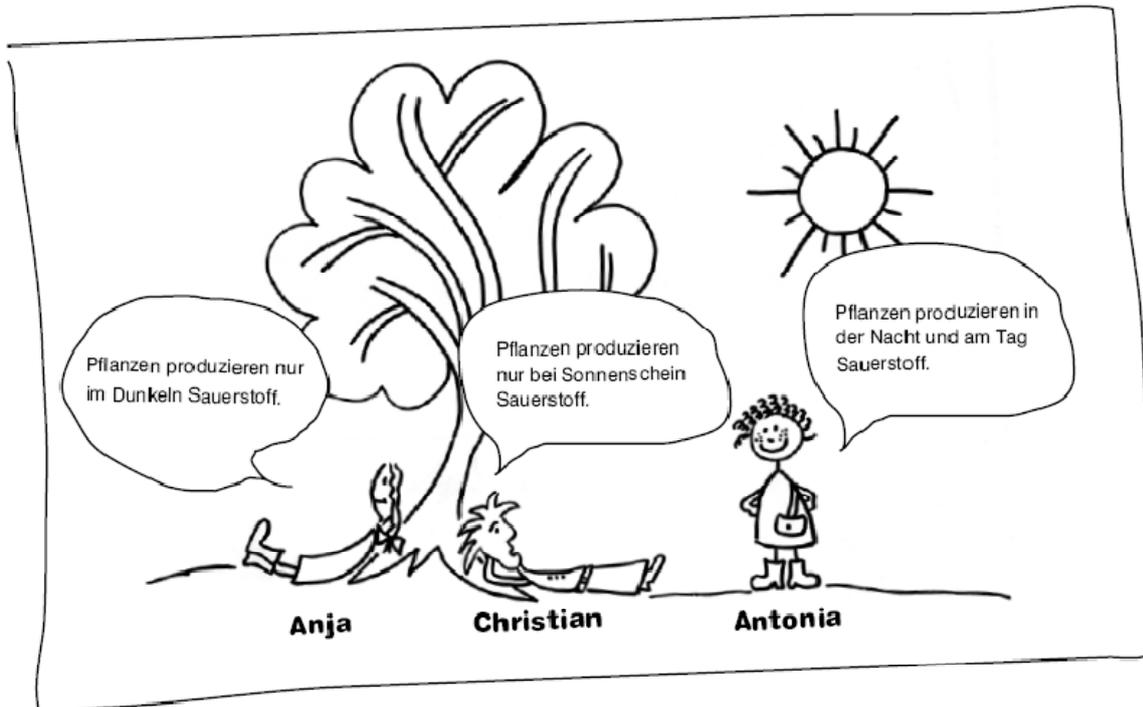


Abbildung 16: *concept cartoon* zu der Frage, ob Pflanzen Licht brauchen, um Sauerstoff zu produzieren

Anschließend treffen die SchülerInnen unter Einbezug ihres Wissens Vorhersagen und suchen nach Lösungen. Sie wissen aus einem bereits durchgeführten Experiment, dass man mit Hilfe einer Wasserpflanze die Sauerstoffproduktion einer Pflanze an den aufsteigenden Bläschen beobachten kann. Auf Basis dieses Wissens planen die SchülerInnen selbständig Versuche mit denen sie das Problem, das durch den *concept cartoon* generiert wurde, lösen können (2. Stufe: Überlegungen zur Problemlösung).

Nachdem sich die SchülerInnen auf einen Versuchsaufbau geeinigt haben, führen sie den Versuch selbständig durch. Benötigte Materialien (Kartonschachteln oder dunkles Papier zum Abdunkeln) werden von der Lehrperson zur Verfügung gestellt. Die SchülerInnen führen das Experiment durch, beobachten und notieren ihre Beobachtungen (3. Stufe: Durchführen eines Lösungsvorschlages).

Anschließend werden die Ergebnisse des Versuches abstrahiert. Die SchülerInnen vervollständigen folgenden Satz:

Wir konnten beweisen dass \_\_\_\_\_ Recht hat, indem wir .....

Die SchülerInnen entscheiden auf Basis der Versuchsergebnisse, wer von den drei Kindern im *Concept Cartoon* Recht hat. Durch die Vorgaben des Satzes sind die SchülerInnen aufgefordert, nicht nur zu sagen, wer nun Recht hat bzw. was sie herausgefunden haben, sondern reflektieren auch den Prozess mit dem sie zu dieser Erkenntnis gekommen sind (4. Stufe: Abstraktion des gewonnenen Wissens).

Oft entstehen beim Lösen eines Problems neue Fragen. Diesen Fragen kann ebenfalls in Form eines forschend-entwickelnden Unterrichts nachgegangen werden. Aus zeitlichen oder anderen organisatorischen Gründen ist es jedoch oft nicht möglich, allen neu entstehenden Fragen durch das Planen neuer Experimente nachzugehen. Diese Fragen können jedoch sehr gut zur Wissenssicherung verwendet werden, indem sie aufgegriffen

werden und gemeinsam mit den SchülerInnen diskutiert werden. So kam z.B. während Modul 4 immer wieder die Frage auf, warum wir in der Nacht auch atmen können, wenn die Pflanzen im Dunkeln keinen Sauerstoff produzieren. Diese Frage aufgreifend, kann mit den SchülerInnen die Rolle der Regenwälder oder Meeresalgen für die Sauerstoffproduktion oder die Rolle der Atmosphäre besprochen werden (5. Stufe: Wissenssicherung).

#### **4.4.2 Historisch-genetisches Lernen**

Unter dem Begriff „historisch-genetisch“ kann man didaktische Konzepte subsumieren, die die Unterrichtsführung an der historischen Entwicklung der Erkenntnis zu einem bestimmten Problem orientieren. Der historisch-genetische Unterricht beruht auf der Einsicht, dass die Denkwege in der Geschichte der Naturwissenschaften auch für den Lernprozess im Unterricht nutzbar gemacht werden können (Mayer 2002).

Verschiedene Begründungen sprechen für den Einbezug historischer Entwicklungen:

- Durch das Durchspielen von Beispielen können die SchülerInnen den Gedankengang einer Forscherin/eines Forschers nachvollziehen und somit erfahren, wie eine Expertin oder ein Experte ein bestimmtes Problem angeht und löst.
- Durch das Einbeziehen der historischen Entwicklung wissenschaftlicher Konzepte wird der Prozess des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns sichtbar. Wissenschaftliche Konzepte verändern sich durch den Einbezug neuer Erkenntnisse.
- Manche für das Thema oder den Gedankengang bedeutende wissenschaftliche Untersuchungen können nicht als SchülerInnenversuch durchgeführt werden, da sie zu aufwendig oder langwierig sind. Hier kann der Nachvollzug eines historischen Experiments helfen.
- Die Lernenden können die Kumulativität des Forschungsprozesses erfahren, d.h. dass an der Aufklärung eines Sachverhaltes (Pflanzenwachstum) zahlreiche ForscherInnen über mehrere Epochen hinweg beteiligt sind.

In Modul 3 wird Joseph Priestley's Versuch diskutiert, um zu veranschaulichen, dass die Pflanzen „verbrauchter Luft ihre Frische zurückgeben“. Priestley's Versuchsaufbau wird in einen „Vorhersagen-Beobachten-Erklären“ Ansatz eingebettet. Den SchülerInnen wird der Versuchsaufbau anhand eines Briefes, den Priestley an seinen Freund Benjamin Franklin schreibt, erklärt und mithilfe einer theoretischen Nachkonstruktion des Versuchs (Glas, Pflanze und Stoffmaus) veranschaulicht. Anschließend sollen die SchülerInnen Vorhersagen treffen, was mit den zwei Mäusen passiert und ihre Vorhersagen mit Argumenten begründen.

In Modul 6 wird basierend auf Van Helmont's Versuch, die Bedeutung des Bodens für das Pflanzenwachstum bearbeitet. Die SchülerInnen bringen eine an Van Helmont's Experiment angelehnte Bildergeschichte in die richtige Reihenfolge und diskutieren, welche Bedeutung das Experiment für das Pflanzenwachstum hat. Anschließend werden im Plenum wichtige historische Entdeckungen zum Thema Pflanzenwachstum besprochen und somit wird der wissenschaftliche Prozess bis zum heute gültigen Konzept nachvollzogen.

#### **4.4.3 Konkurrierende Theorien**

Um die Argumentationsfähigkeit der SchülerInnen zu fördern, braucht es verschiedene mögliche Erklärungen für einen Sachverhalt, über die diskutiert werden kann. Deshalb

muss zu einer wissenschaftlich korrekten Erklärung auch immer eine alternative Erklärung gegeben werden. Für viele LehrerInnen mag es verwirrend sein, den SchülerInnen falsche Erklärungen oder Konzepte anzubieten in dem Glauben, SchülerInnen könnten diese alternativen Erklärungen annehmen. Wissenschaftliche Untersuchungen (Osborne et al. 2004) zeigen jedoch, dass genau das Gegenteil der Fall ist. Wenn den SchülerInnen die Möglichkeit gegeben wird, neben der wissenschaftlichen Erklärung auch alternative Erklärungen zu hinterfragen, führt das zu einer breiteren Akzeptanz und Verständnis der wissenschaftlichen Idee. Zudem wird jede Unterrichtseinheit mit einer abschließenden Diskussion in der Klasse beendet, bei der etwaige Unklarheiten oder Missverständnisse geklärt werden können.

In den Unterrichtsmaterialien wurde die Idee konkurrierender Theorien auf zwei verschiedene Weisen umgesetzt.

#### **4.4.3.1 Vorhersagen – Beobachten – Erklären**

Bei Vorhersagen-Beobachten-Erklären-Einheiten treffen die SchülerInnen einzeln Vorhersagen für den Ausgang eines Experimentes, diskutieren diese Vorhersagen und auch Begründungen für diese Vorhersagen in der Gruppe, beobachten den Verlauf eines Experiments und suchen wieder gemeinsam nach Erklärungen für die Beobachtungen (Wu 2005).

In Modul 1 werden die SchülerInnen zum Beispiel gefragt, was mit einer brennenden Kerze passiert, wenn sie mit einem Glasbehälter zugedeckt wird. Einige SchülerInnen treffen die Vorhersage, dass die Kerze sofort ausgeht, andere sind der Meinung, dass sie erst nach ein paar Sekunden ausgeht und wieder andere sind der Meinung, dass sie heller brennt. Anschließend gehen die SchülerInnen in Gruppen zusammen, diskutieren die einzelnen Vorhersagen inklusive Begründungen und müssen sich auf eine Vorhersage samt Begründung einigen, um anschließend das Experiment durchzuführen. Durch die Beobachtung, was passiert, wird ihre eigene Vorhersage widerlegt oder bestätigt.

Auf Basis der eigenen Beobachtung suchen die SchülerInnen nach Erklärungen für das bestimmte Phänomen. Die SchülerInnenerklärungen werden anschließend im Plenum diskutiert und die wissenschaftlich anerkannte Erklärung erarbeitet.

#### **4.4.3.2 Concept Cartoons**

Eine weitere Möglichkeit konkurrierende Theorien in den Unterricht einzubringen sind *concept cartoons* (Keogh 1998, Keogh 1999, Keogh 2001). Visuell ansprechend und mit einem Minimum an Text werden verschiedene Erklärungen für einen bestimmten wissenschaftlichen Sachverhalt angeboten. Die verschiedenen Erklärungen werden dabei immer von Menschen ausgesprochen und basieren in den meisten Fällen auf bereits erhobenen Alternativvorstellungen zu einem bestimmten Sachverhalt. Durch die Personifizierung verschiedener Erklärungen und die an Cartoons angelehnte grafische Darstellung eines Problems aus dem Alltag der Lernenden wird ein Alltagsbezug geschaffen, der durch einfache multiple-choice Fragen nicht gegeben wäre (Naylor 1999).

In Modul 4 wirft ein *concept cartoon* die Frage auf, ob Pflanzen Licht brauchen, um Sauerstoff zu produzieren. Drei Kinder stehen unter einem Baum und haben verschiedene Meinungen zu diesem Sachverhalt. Während ein Kind der Meinung ist, dass Pflanzen nur unter Tags Sauerstoff produzieren, ist ein anderes Kind der Meinung, dass Pflanzen sowohl in der Nacht als auch am Tag Sauerstoff produzieren. Das dritte Kind ist der Meinung, dass Pflanzen nur in der Nacht Sauerstoff produzieren (Abbildung 16).

Ausgehend von diesem visuellen Stimulus diskutieren die Lernenden die verschiedenen Antworten. Anschließend planen und evaluieren die SchülerInnen ein Experiment, um die Frage beantworten zu können.

#### 4.4.4 Concept mapping

*Concept mapping* ist eine effektive Möglichkeit, zu prüfen, welche Vorstellungen Lernende von einem wissenschaftlichen Konzept haben – sowohl vor als auch nach einer Lerneinheit (Mintzes 2001). Eine *concept map* ist ein zweidimensionaler Graf, der aus Knoten (Begriffen) und Verbindungspfeilen zwischen Knoten besteht. Dabei beschreibt bzw. erklärt die Beschriftung der Pfeile zusammen mit der Pfeilrichtung die Beziehung zwischen den zwei Knoten (Schmitz 2006).

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass *concept mapping* eine sehr effektive Methode ist, um das Verständnis eines komplexen wissenschaftlichen Sachverhaltes zu überprüfen und allfällige „Alternativkonzepte“ aufzudecken (Brandt 2001, Freeman 2004, Kinchin 2000a, Kinchin 2000b, Kinchin 2000d, Kinchin 2001, Liu 2004, Novak 1989, Novak 1995, Rice 1999, Stoddart 2000, Mintzes 2001).

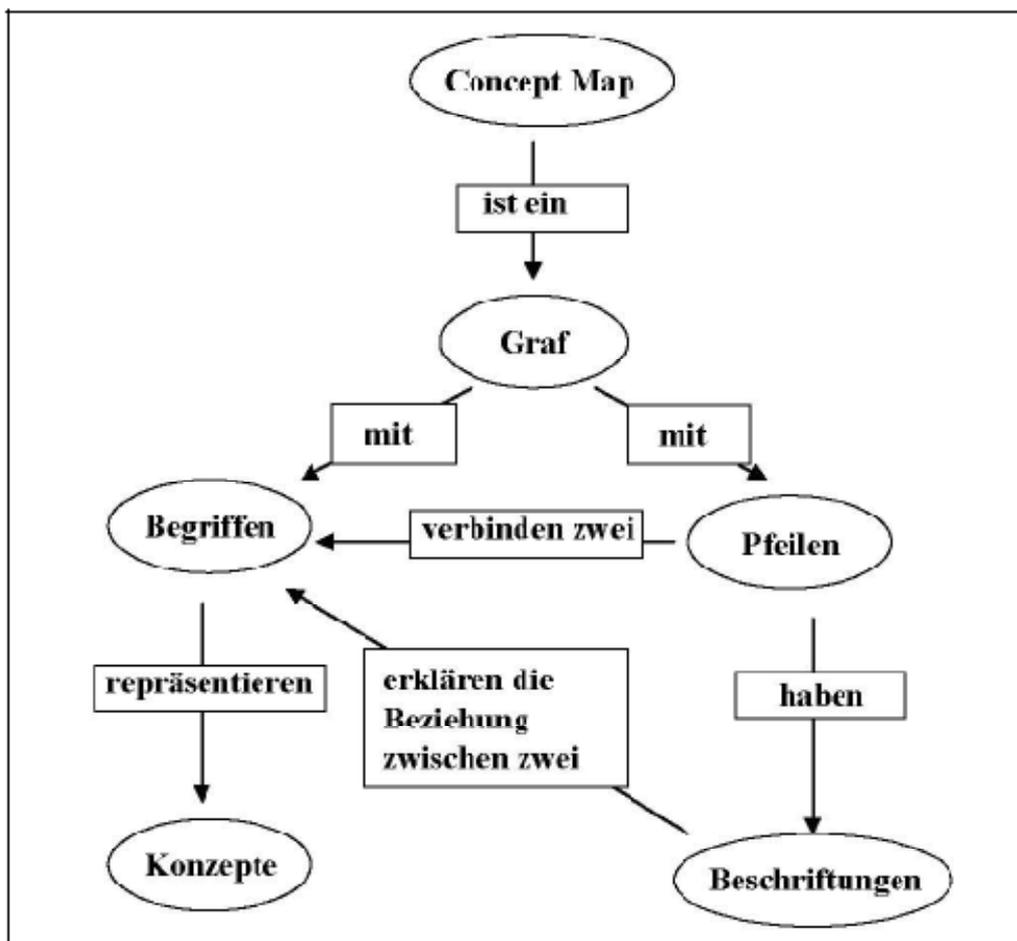


Abbildung 17: Struktur ein Concept Map (Schmitz 2006)

In Modul 10 wird die Methode des *concept mapping* verwendet, um das Verständnis der SchülerInnen zum Thema Fotosynthese/Pflanzenwachstum zu überprüfen. Alle während des Projektes erarbeiteten Schlüsselworte werden den SchülerInnen auf Kärtchen vorgegeben. Aufgabe der SchülerInnen ist es, in Kleingruppen die Kärtchen zu organisieren und in Verbindungen zueinander zu setzen. Es entstehen Plakate, die in der Klasse präsentiert werden und anschließend in der Klasse oder in der Schule aufgehängt werden können.

Die *concept map* dient dabei nicht nur als Lernkontrolle oder Wiederholung, sie gibt den LehrerInnen auch ein direktes Feedback, ob das Thema verstanden wurde bzw. welche „Alternativkonzepte“ auch nach dem Projektunterricht noch vorhanden sind.

*Concept maps* eignen sich jedoch nicht nur, um die Sachkompetenz der SchülerInnen zu einem bestimmten Thema zu erheben. Durch einen einfachen Zusatz kann auch überprüft werden, ob die SchülerInnen das Verhältnis zwischen einzelnen Wissensbeständen und den Prozessen, durch die diese erzeugt werden, verstehen, sprich ob die SchülerInnen epistemologische Kompetenz entwickelt haben. Im Rahmen des Plant Science Gardens Projektes entwickelte ich dazu die Methode des *evidence mapping*.

#### **4.4.4.1 Evidence Mapping**

*“Science has many methods of investigation, but all are based on the notion that some form of evidence is the basis for defensible conclusions. Much scientific knowledge is tentative and is continually refined in the light of new evidence” (Abd-El-Khalick 2004)*

Ein Ziel der Unterrichtsmaterialien ist es, den SchülerInnen ein Verständnis für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn zu vermitteln. Im Lauf des Projektes erarbeiten sich die SchülerInnen einen großen Teil ihres Wissens zum Thema Fotosynthese selbständig durch das Planen, Durchführen und Evaluieren einfacher Experimente.

Ziel des *evidence mapping* ist es, einen Reflexionsprozess der SchülerInnen über die einzelnen Experimente und deren Ergebnisse zu erleichtern. Was haben wir mit diesem Experiment herausgefunden? Was konnten wir damit beweisen?

Nach dem Erstellen der *concept maps* ordnen die SchülerInnen Fotos der Experimente, die sie im Laufe des Projektunterrichtes selbständig planten und durchführten, dem Begriffsnetz zu. Von den Fotos werden Verbindungslinien zu den passenden Begriffen in der *concept map* gezogen. Die SchülerInnen müssen überlegen, was sie mit dem jeweiligen Experiment herausgefunden haben, was sie damit beweisen konnten.

Die im Rahmen des Projektes entwickelte Methode des *evidence mapping* eignet sich sehr gut, um zu überprüfen, ob die SchülerInnen den Zusammenhang zwischen dem im Laufe des Projektes entwickelten Wissen und den Prozessen, die zu diesem Wissen führten, verstehen.



Abbildung 18: Evidence map einer Schülerinnengruppe

#### 4.4.5 Begründungen aufschreiben

In Gruppendiskussionen haben die SchülerInnen die Möglichkeit, den Prozess des naturwissenschaftlichen Begründens zu erproben. Begründungen aufzuschreiben ist jedoch essentiell, um die Fähigkeit, wissenschaftlich zu begründen, zu fördern. Sobald die SchülerInnen ihre eigenen Voraussagen oder Behauptungen schriftlich begründen müssen, beginnen sie, über exakte Formulierungen nachzudenken (Osborne et.al 2004). Um diesen Prozess zu unterstützen sind in allen Modulen Schreibvorlagen enthalten, die den Prozess des Begründens erleichtern (Abbildung 19).

Ich glaube Antwort \_\_\_\_ ist richtig, weil

Abbildung 19: Schreibvorlage, um den Prozess des wissenschaftlichen Begründens zu unterstützen

#### 4.4.6 Zwei Dinge, die ich heute herausgefunden habe

Unter epistemologische Kompetenz fällt auch, dass die SchülerInnen in der Lage sind, Experimente zu deuten und zu überlegen, was sie damit herausgefunden haben. Was habe ich gemacht? Warum habe ich das gemacht? Was habe ich damit herausgefunden?

In allen Modulen schreiben die SchülerInnen kurz vor Ende der Einheit zwei Dinge auf, die sie herausgefunden haben. Die SchülerInnen überlegen selbständig, was sie mit den jeweiligen Experimenten herausgefunden haben. Es geht darum, was die SchülerInnen herausgefunden haben und nicht darum, was die/der Unterrichtende als Ziel formuliert hat. Dadurch wird erreicht, dass SchülerInnen selbständig nachdenken müssen anstatt die Erklärungen der Unterrichtenden zu übernehmen.

#### **4.4.7 Gruppenarbeit**

Um den Prozess des wissenschaftlichen Begründens und Argumentierens üben zu können, müssen die SchülerInnen die Möglichkeit haben, sich untereinander auszutauschen. Diskussionen, die die ganze Klasse mit einbeziehen, bieten für viele SchülerInnen nicht die Möglichkeiten, sich an den Diskussionen zu beteiligen. Einerseits ist die Anzahl an SchülerInnen normalerweise zu hoch, damit sich alle SchülerInnen an der Diskussion beteiligen können, andererseits ist es speziell für schüchterne SchülerInnen oft unangenehm, die eigene Meinung vor der ganzen Klasse zu positionieren. Arbeit in Kleingruppen gibt den SchülerInnen nicht nur die Möglichkeit, ihre eigenen Gedanken und Begründungen zu artikulieren, gleichzeitig fördert es auch das aktive Zuhören, wenn andere Gruppenmitglieder ihre Ideen und Vorschläge mitteilen.

In allen Modulen sind die Arbeitsaufträge so organisiert, dass die SchülerInnen in Kleingruppen (4-5 SchülerInnen) arbeiten. In einigen Modulen sind vor Gruppenarbeiten Phasen der Einzelarbeit eingebaut bzw. Diskussionen in der ganzen Klasse. In Modul 1 überlegen sich die SchülerInnen zuerst alleine, was mit einer Kerze passiert, wenn sie zugedeckt wird und eine Erklärung für ihre Vorhersage. Anschließend einigen sich die SchülerInnen in Kleingruppen auf eine Vorhersage und Erklärung. Angenommen die einzelnen SchülerInnen treffen unterschiedliche Voraussagen, müssen sie auf diese Weise die verschiedenen Argumente abwägen und sich auf die plausibelste Erklärung einigen. Die verschiedenen Vorschläge und Erklärungen werden abschließend auch noch im Plenum diskutiert und erst anschließend wird der Versuch durchgeführt.

#### **4.4.8 Reflexion der Ergebnisse und der Prozesse**

Selbständiges Experimentieren führt nicht nur zu einer Erweiterung der Methoden- und Sachkompetenz, sondern kann auch ein aufgeklärtes Bild des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns – sprich epistemologische Kompetenz - fördern. Verschiedene Studien (Sandoval 2004, Lederman 1999) belegen jedoch, dass wissenschaftliches Arbeiten alleine nicht unbedingt zu einem tieferen Verständnis des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns führen muss. Abd-al-Khalik et al. (2004) gehen davon aus, dass es, um ein Verständnis der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise zu vermitteln, notwendig ist, den SchülerInnen die Möglichkeit zum selbständigen Experimentieren zu bieten und anschließend nicht nur das entwickelte Wissen, sondern auch die Prozesse, die zu diesem Wissen führten, zu reflektieren.

*“For developing students understanding about science, providing authentic inquiry is absolutely necessary. Teaching science and teaching about science is at its best by having students perform scientific investigations followed by reflection on these activities and the nature of the knowledge produced” (Abd-al-Khalik et al. 2004)*

Diesen Gedanken habe ich beim Entwickeln der Unterrichtsmaterialien aufgegriffen. In den meisten Modulen wird den SchülerInnen die Möglichkeit geboten, selbständig Experimente zu planen. Am Ende der jeweiligen Stunde werden dann nicht nur die Ergebnisse der einzelnen Experimente reflektiert, sondern auch die Prozesse, die zu diesen Ergebnissen geführt haben. Somit werden einzelne wissenschaftliche Arbeitsweisen (Isolieren von Faktoren, Beobachten, Vergleichen) nicht nur selbstständig durchgeführt, sondern auch noch explizit erwähnt, besprochen und diskutiert.

#### **4.5 Entwicklung der Unterrichtsmaterialien - Zusammenfassung**

Vor dem Hintergrund des gemäßigt konstruktivistischen Ansatzes (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2001) habe ich im Rahmen des EU Projektes Plant Science Garden Unterrichtsmaterialien zum Thema Fotosynthese für neun bis zwölfjährige SchülerInnen entwickelt. Ausgehend von den SchülerInnenvorstellungen zum Thema Luft und Pflanzenwachstum wurden 10 Module entwickelt, bei denen die SchülerInnen durch forschend-begründendes Lernen ihre Alltagsvorstellungen zu wissenschaftlich anerkannten Konzepten weiterentwickeln können. Ziel der Unterrichtsmaterialien ist, dass neben der Sachkompetenz auch die kognitive, methodische und epistemologische Kompetenz der SchülerInnen gefördert wird. Um dies zu erreichen werden in den Unterrichtsmaterialien verschiedenste Methoden verwendet (Tabelle 3).

Tabelle 3: Überblick über die einzelnen Module und die verwendeten Methoden

Nr.	Name des Moduls	Ziel des Moduls	Forschend-entdeckendes Lernen + Reflexion	Historisch-Genetisches Lernen	Concept cartoon	Vorhersagen-Beobachte-Begründen	Concept mapping	Evidence mapping	Begründungen aufschreiben	Gruppenarbeit	2 Dinge, die ich heute gelernt habe
1	Die brennende Kerze	S. erkennen den Unterschied des O <sub>2</sub> Gehalt in Aus- und Einatemungsluft	+			+			+	+	+
2	Die Luft, die wir ausatmen	S. erkennen den Unterschied des CO <sub>2</sub> Gehalt in Aus- und Einatemungsluft	+						+	+	+
3	Priestley's Experiment	S. verstehen, dass Pflanzen O <sub>2</sub> produzieren		+		+			+	+	+
4	Die Wasserpest macht Sauerstoff	S. erkennen Faktoren, die die O <sub>2</sub> -Produktion beeinflussen	+		+				+	+	+
5	Mein eigener Sauerstoffverbrauch	S. erkennen die Grünfläche, die für ihren eigenen O <sub>2</sub> -Verbrauch notwendig ist								+	
6	Wie wachsen Kartoffelpflanzen?	S. erkennen, dass sich Pflanze nicht ausschließlich über Boden ernähren kann		+					+	+	+
7	Die Fotosynthese-gleichung	Aufstellen der Fotosynthese-gleichung									
8	Stärke und Blattgrün (im BG)	S. erkennen Faktoren, die die Stärkeproduktion beeinflussen	+						+	+	
9	Wie kommt das Wasser ins Blatt (im BG)?	S. verstehen, wie Wasser ins Blatt kommt									
10	Wiederholung: Wie Pflanzen wachsen	S. wiederholen die erarbeiteten Inhalte					+	+			

## 5 Evaluation der Unterrichtsmaterialien

Unterricht ist kein statischer Prozess. Innovationen im Bildungsbereich änderten das Bild von effektivem naturwissenschaftlichem Unterricht im Lauf der letzten 100 Jahre und davor und Innovationen ändern dieses Bild weiterhin. Innovationen reichen dabei von neuen Unterrichtsmethoden, die eine Lehrerin/ein Lehrer mit einer Klasse ausprobiert über Lehrplanänderungen oder das Einführen von Bildungsstandards auf nationaler Ebene bis hin zu einem Überdenken des naturwissenschaftlichen Bildungsanspruch auf transnationaler Ebene (EU, OECD,..).

Idealerweise werden Innovationen – egal auf welcher Ebene sie eingeführt werden – evaluiert bevor sie einem breiteren Publikum zugänglich gemacht werden (Elbourne 2005).

Bevor die im Rahmen des Plant Science Gardens Projektes entwickelten Lehrmaterialien via LehrerInnenfortbildung und LehrerInnenausbildung einem breiteren Publikum zugänglich gemacht werden und somit möglichst viele SchülerInnen erreichen, ist es notwendig zu erheben, ob die Ziele, die durch die Verwendung der Unterrichtsmaterialien angestrebt werden, auch tatsächlich erreicht werden. Dazu wurden die Unterrichtsmaterialien in vier Volksschulklassen getestet und evaluiert. Im Zentrum der Evaluation standen die Fragen, i) welchen Einfluss das Arbeiten mit den erstellten Unterrichtsmaterialien auf das Interesse der SchülerInnen an naturwissenschaftlichem Arbeiten haben und ii) ob die der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien zu Grunde liegenden Kompetenzen (2.1.3) durch die Arbeit mit den Unterrichtsmaterialien auch tatsächlich gefördert werden.

### 5.1 Forschungsleitende Fragen

#### 5.1.1 Interesse und Einstellungen

Ein aktueller Bericht der OECD (OECD 2006) über die Entwicklung der SchülerInneninteressen bezüglich Naturwissenschaften fasst auf wenigen Seiten zusammen, was nationale und internationale Berichte seit langem prognostizieren:

- Das Interesse junger Menschen an Naturwissenschaften nimmt ab. Obwohl sich die absoluten StudentInnenzahlen in naturwissenschaftlichen Fächern in den letzten Jahren erhöht haben, sinken die relativen Zahlen stetig.
- Die Entscheidung für ein naturwissenschaftliches Studium ist sehr stark gender-abhängig.
- Die Studienwahl basiert sehr stark auf positiven bzw. negativen Erfahrungen, die im Laufe der Schulzeit gesammelt wurden. Frühe positive Erfahrungen mit Naturwissenschaften beeinflussen die zukünftige Studienwahl nachhaltig.

Basierend auf diesen Ergebnissen ergeben sich für die vorliegende Arbeit folgende Forschungsfragen:

**Forschungsleitende Frage 1: Ist bereits im Volksschulalter mangelndes Interesse an naturwissenschaftlichen Inhalten festzustellen?**

**Forschungsleitende Frage 2: Sind bereits im Volksschulalter genderspezifische Interessensunterschiede bezüglich naturwissenschaftlichen Inhalten festzustellen?**

**Forschungsleitende Frage 3: Welchen Einfluss hat der durchgeführte Projektunterricht auf das Interesse der SchülerInnen?**

### **5.1.2 Sachkompetenz**

Ziel der Unterrichtsmaterialien ist, dass die SchülerInnen ein weitgehendes Verständnis des Themas Fotosynthese entwickeln. Dabei gilt zu berücksichtigen, welche Vorstellungen zum Thema die SchülerInnen vor dem Projektunterricht haben und wie sich diese Vorstellungen im Lauf des Projektunterrichts ändern. Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

**Forschungsleitende Frage 4: Welche Vorstellungen zum Thema Fotosynthese haben die teilnehmenden SchülerInnen vor dem Projektunterricht?**

**Forschungsleitende Frage 5: Welche Vorstellungen zum Thema Fotosynthese haben die teilnehmenden SchülerInnen nach dem Projektunterricht?**

Ein Fortschritt im Verständnis eines wissenschaftlichen Konzeptes beinhaltet auch, dass sich die Sprache der SchülerInnen vom Gebrauch einer Alltagssprache zu einer exakten Verwendung wissenschaftlicher Ausdrücke verändert (Keogh et al. 2002). Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

**Forschungsleitende Frage 6: Ändert sich die Sprache der SchülerInnen beim Artikulieren ihrer Vorstellungen im Lauf des Projektes?**

### **5.1.3 Methodenkompetenz**

Methodenkompetenz umfasst die Fähigkeit, naturwissenschaftliche Arbeitstechniken und Arbeitsweisen sachbezogen und situationsgerecht anzuwenden. Die Unterrichtsmaterialien geben den SchülerInnen die Möglichkeit durch selbständiges Planen, Durchführen und Evaluieren einfacher Experimente methodische Kompetenzen zu entwickeln.

All zu oft wird Methodenkompetenz auf das Beherrschen manueller Arbeitstechniken reduziert (z.B. Pipettieren, Messen, Mikroskopieren). Wissenschaftliches Arbeiten ist jedoch kein manueller Prozess, sondern ein hoch reflexiver Prozess. Deshalb darf sich auch das wissenschaftliche Arbeiten im Sachunterricht nicht mit dem Vermitteln manueller Arbeitstechniken begnügen. Beim wissenschaftlichen Arbeiten geht es nicht primär um manuelle Arbeitstechniken, sondern vielmehr um das Aufstellen überprüfbarer Hypothesen, den Umgang mit beeinflussenden Variablen und das Analysieren von Daten, um zu einer abgesicherten Schlussfolgerung zu kommen. In Bezug auf Methodenkompetenz ergeben sich für die Evaluation der Unterrichtsmaterialien folgende Forschungsfragen:

**Forschungsleitende Frage 7: Welche Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens verwenden die SchülerInnen beim Arbeiten mit den Unterrichtsmaterialien?**

**Forschungsleitende Frage 8: Ändert sich im Lauf des Projektunterrichtes das Verständnis der SchülerInnen zu ausgewählten Prozessmerkmalen wissenschaftlichen Arbeitens?**

### **5.1.4 Kognitive Kompetenz**

Es gibt verschiedene wissenschaftliche Methoden und alle zielen darauf ab, auf Basis der gewonnenen Daten nachvollziehbare Schlussfolgerungen zu ziehen. Experimentieren in der Schule rückt sehr oft das aktive Tun, das Messen und Manipulieren in den Vordergrund und ein zentraler Punkt wissenschaftlichen Arbeitens wird dabei oft vernachlässigt, nämlich das Interpretieren der Daten und auf Basis dieser Daten Schlussfolgerungen zu ziehen. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

**Forschungsleitende Frage 9: Fördern die erstellten Unterrichtsmaterialien die kognitive Kompetenz der SchülerInnen, auf Basis der selbständig durchgeführten Experimente gültige Schlussfolgerungen zu ziehen?**

### **5.1.5 Epistemologische Kompetenz**

Epistemologische Kompetenz umfasst die Fähigkeit, das Verhältnis zwischen den Wissensbeständen und den Prozessen, durch die sie erzeugt werden, zu verstehen. Die Unterrichtsmaterialien zielen darauf ab, dass die SchülerInnen das Verhältnis zwischen empirischen Beweisen und naturwissenschaftlicher Theorie verstehen. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

**Forschungsleitende Frage 10: Verstehen die SchülerInnen den Zusammenhang zwischen ihrem Wissen zum Thema Fotosynthese und den Prozessen, die zu diesem Wissen führen?**

## 5.2 Sample

Die erstellten Unterrichtsmaterialien wurden zwischen Oktober 2006 und Mai 2007 an vier Innsbrucker Volksschulen getestet. Der Unterricht in der Schule wurde dabei von den KlassenlehrerInnen durchgeführt, der Unterricht im Botanischen Garten vom Team der Grünen Schule des Botanischen Gartens in Innsbruck.

### 5.2.1 SchülerInnen

Die Unterrichtsmaterialien wurden mit 84 SchülerInnen (43 Schüler und 41 Schülerinnen) der vierten Klasse Volksschule getestet. Das Alter der SchülerInnen lag zum Zeitpunkt der Datenerhebung zwischen 9 und 11 Jahren (Abbildung 20).

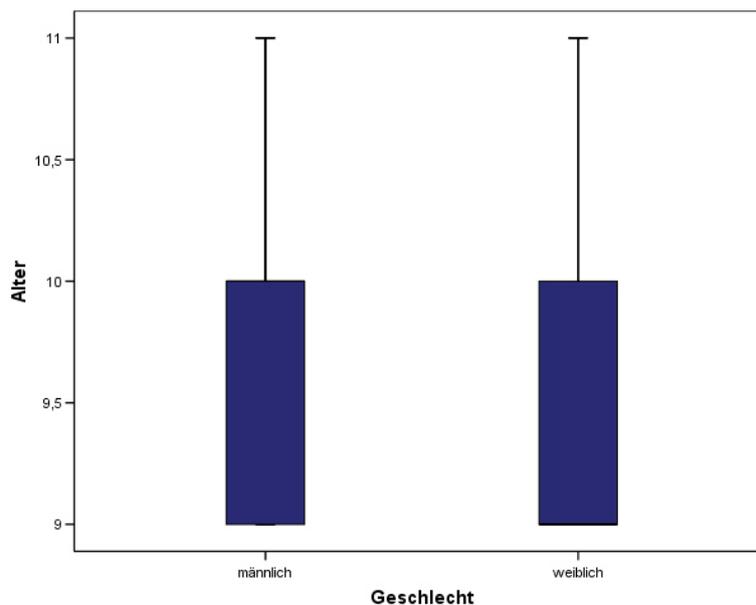


Abbildung 20: Alter der am Projekt beteiligten SchülerInnen

24% der beteiligten SchülerInnen gaben an, nur manchmal bzw. nie Deutsch zu Hause zu sprechen.

Ich bat die LehrerInnen, die einzelnen SchülerInnen auf einer Skala von 1 (sehr gute SchülerInnen), 2 (mittelmäßige SchülerInnen) und 3 (eher schwächere SchülerInnen) zu bewerten, da während des Projektunterrichtes in leistungshomogenen Gruppen gearbeitet werden sollte. Die LehrerInnen bewerteten 56% ihrer SchülerInnen als sehr gute SchülerInnen, 31% als mittelmäßige SchülerInnen und 13% als eher schwächere SchülerInnen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Charakterisierung der an der Testphase teilnehmenden SchülerInnen

Anzahl SchülerInnen	Alter			Wie oft sprichst du zu Hause deutsch?			Schulleistung (beurteilt durch LehrerIn)		
	9	10	11	immer	manchmal	nie	Sehr gut	Durchschnittlich	Eher schwach
84 (100%) ♀41 ♂43	46%	48%	5%	76%	23%	1%	56%	31%	13%

### 5.2.1.1 Gruppeneinteilung

Für die Testphase wurden die Klassen in leistungshomogene Gruppen unterteilt. Leistungshomogene Gruppen haben den Vorteil, dass sich schwächere SchülerInnen nicht hinter den besseren SchülerInnen einer Gruppe „verstecken“ können und sich ebenfalls aktiv beim Problemlösen beteiligen müssen. Nachteile leistungshomogener Gruppen sind unter anderem die möglicherweise fehlende Vorbildwirkung besserer SchülerInnen.

Ich habe mich bewusst für leistungshomogene Gruppen entschieden. Die Unterrichtsmaterialien sind so gestaltet, dass sehr gute SchülerInnen die gestellten Probleme auch ohne Hilfe der LehrerInnen lösen können. Schwächere SchülerInnen benötigen eventuell die Unterstützung anderer SchülerInnen oder der Lehrerin/des Lehrers. Durch leistungshomogene Gruppen kommt es automatisch zu einer inneren Differenzierung, bei der die Lehrerin die schwächeren Gruppen bei der Problemlösung unterstützt, während stärkere Gruppen die Probleme alleine lösen. Die Leistungsbeurteilung beruhte auf den Einschätzungen der LehrerInnen (5.2.1).

Neben dem Kriterium der Leistungshomogenität wurde auch die soziale Struktur in der Klasse bei der Gruppeneinteilung berücksichtigt. Um die soziale Struktur in den Klassen zu erfassen, verwendete ich die Methoden der sozialen Netzwerkanalyse (Scott 1991, Jansen 1999, Hannemann 1999). Dazu wurden alle SchülerInnen gebeten, drei MitschülerInnen zu nennen, mit denen sie bei einem Projekt gerne zusammenarbeiten würden. Auf Basis dieser Nennungen habe ich mit Hilfe der Software UCINET (Borgatti 2002) Netzwerke erstellt, die Rückschlüsse auf die sozialen Strukturen in der Klasse zulassen. Netzwerke sind Strukturen, die aus Knoten (SchülerInnen) und Pfeilen (Beziehungen zwischen SchülerInnen) bestehen. Die Knoten im Netzwerk ist durch die Anzahl der SchülerInnen in der Klasse vorgegeben, Pfeile entstehen, wenn ein Schüler oder eine Schülerin einen Mitschüler oder eine Mitschülerin nennt, mit dem sie/er zusammenarbeiten möchte. Pfeile sind charakteristisch für gerichtete Netzwerke. So kann es sein, dass SchülerIn A zwar mit SchülerIn B zusammenarbeiten möchte, jedoch nicht umgekehrt.

Die auf diese Weise entstehenden Netzwerke können auf verschiedenste Parameter untersucht werden. Wer sind die zentralen Personen in der Klasse? Wer sind die Außenseiter? Gibt es Gruppenbildungen? Welche Faktoren beeinflussen die Gruppenbildung (Geschlecht, Herkunft, Schulleistung)?

Ich habe diese Netzwerke auf allfällige Gruppenbildung untersucht und versucht „Freundschaftsgruppen“ nach Möglichkeit beim Projekt zusammenzulassen, unter der Voraussetzung, dass die Gruppen leistungshomogen bleiben.

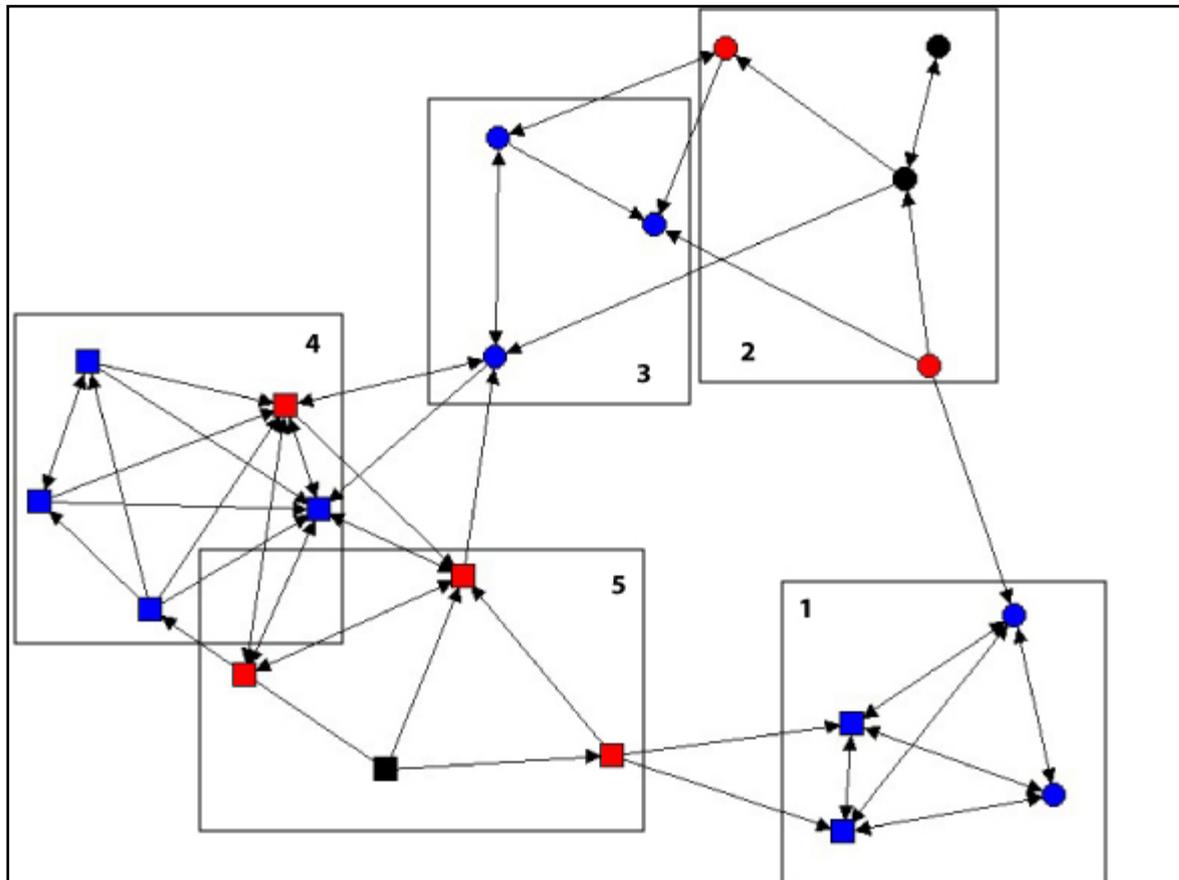


Abbildung 21: Beispiel für die Gruppeneinteilung auf Basis der Kriterien Leistungshomogenität und sozialer Klassenstruktur (Kreise = männlich, Quadrate = weiblich; blau = sehr gute SchülerInnen; rot = mittelmäßige SchülerInnen; schwarz = eher schwächere SchülerInnen); die mit Nummern markierten Rechtecke entsprechen den einzelnen Gruppen.

Abbildung 21 zeigt, wie die Gruppen unter Berücksichtigung der Kriterien Leistungshomogenität und sozialer Klassenstruktur eingeteilt wurden. Die einzelnen Gruppen wurden mit Zahlen von 1 - 5 nummeriert. Die Gruppen 1, 3 und 4 sind leistungsstärkere Gruppen, während die Gruppen 2 und 5 leistungsschwächere Gruppen sind.

Alle vier Klassen wurden nach der oben beschriebenen Vorgehensweise in fünf leistungshomogene Gruppen unterteilt. Die kleinsten Gruppen waren Dreiergruppen, die größten Gruppen Fünfergruppen. Diese Gruppeneinteilung wurde während dem ganzen Projektverlauf nicht mehr geändert.

Die auf diese Weisen erhobenen sozialen Beziehungen in den jeweiligen Klassen wurden noch vor dem Projektunterricht mit den LehrerInnen diskutiert. Die LehrerInnen waren sehr überrascht, dass ich nach einer kurzen Erhebungs- und Analysephase bereits relativ genau über Netzwerke innerhalb der Klasse, eventuelle Außenseiter, Schlüsselpersonen etc. Bescheid wusste. Für mich war besonders interessant, wie genau die jeweiligen KlassenlehrerInnen über die sozialen Strukturen in „ihren“ Klassen Bescheid wussten und die jeweiligen Analysen, Interpretationen und Kommentare der LehrerInnen zu hören. Es

war erstaunlich, wie sehr sich meine *rapid approach* Analysen mit den jahrelangen Beobachtungen der LehrerInnen deckten.

### **5.2.2 LehrerInnen**

Der Unterricht in den Schulen wurde von den jeweiligen KlassenlehrerInnen durchgeführt, der Unterricht im Botanischen Garten vom Team der Grünen Schule.

An der Testphase beteiligten sich drei Lehrerinnen und ein Lehrer, deren durchschnittliche Anzahl an Lehrjahren 15 Jahre beträgt. Alle vier LehrerInnen sind routinierte und sehr engagierte LehrerInnen. In Bezug auf Erfahrung mit naturwissenschaftlichem Arbeiten unterscheiden sich die vier LehrerInnen jedoch. Eine Lehrerin hat ein naturwissenschaftliches Studium (Botanik) absolviert, während die anderen drei LehrerInnen die Zielgruppe der VolksschullehrerInnen in Bezug auf naturwissenschaftliche Themen und Arbeitsweisen sehr gut repräsentieren (3.1), sprich eher wenig Erfahrungen mit naturwissenschaftlichem Arbeiten hatten.

## **5.3 Methoden der Datenerhebung und Datenanalyse**

Die der Evaluation zu Grunde liegenden Daten habe ich zwischen September 2006 und Juli 2007 erhoben. In allen Klassen habe ich Fragebogeninterviews und semi-strukturierte Interviews vor (Vortest), direkt nach (Posttest) und 5 Monate nach (Posttest 2) dem Projektunterricht durchgeführt. Alle Unterrichtsstunden wurden beobachtet und teilweise gefilmt. Die an der Testphase beteiligten LehrerInnen und die den Unterricht beobachtenden Personen (Dr. Anja Christanell und ich) schrieben detaillierte Beobachtungsprotokolle. Alle qualitativen Daten habe ich mit Hilfe der Software atlas.ti. und nach der Vorgehensweise der Grounded theory (Glaser und Strauß 1967) und qualitativen Inhaltsanalyse (Bernard 2002) analysiert. Die quantitativen Daten habe ich mit Hilfe der Software SPSS 15 analysiert (Bortz 2003). In der Folge werden die verwendeten Methoden zur Datenerhebung und -auswertung genauer beschrieben.

### **5.3.1 Datenerhebung**

#### **5.3.1.1 Fragebögen**

Mit den im Laufe des Projektes verwendeten Fragebögen wurden verschiedene Aspekte der vorliegenden Arbeit erhoben. Die Fragen lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- Kategorie 1: Fragen zu Einstellungen gegenüber Sachunterricht im Allgemeinen und zum selbständigen Experimentieren im Sachunterricht im Speziellen
- Kategorie 2: Allgemeine Fragen zur Bedeutung der Pflanzen und zum Verständnis ausgewählter Kriterien eines wissenschaftlichen Experiments
- Kategorie 3: Vertiefende Fragen zum Thema Fotosynthese/Pflanzenwachstum

Die Fragen der Kategorie 1 wurden vor dem Projektunterricht (Prätest) gestellt und unmittelbar nach dem Projektunterricht (Posttest), um eventuell auftretende Interessensänderungen festzustellen. Die Fragen der Kategorie 2 wurden vor, unmittelbar und 5 Monate nach dem Projektunterricht (Posttest 2) gestellt, um einerseits Wissenszuwächse im Laufe des Projektunterrichtes und andererseits die Nachhaltigkeit dieser Wissenszuwächse festzustellen. Die Fragen der Kategorie 3 wurden unmittelbar nach und 5 Monate nach dem Projektunterricht gestellt, um die Nachhaltigkeit der Wissenszuwächse zum Thema Fotosynthese festzustellen. Die Fragen der Kategorie 3 wären vor dem Projektunterricht nicht sinnvoll einsetzbar gewesen, da sie sich auf das während des Projektes erarbeitete Wissen konzentrieren.

Alle Fragen wurden mit fünf 8-11jährigen Kindern aus meinem Bekanntenkreis getestet, um zu gewährleisten, dass die gewählten Formulierungen von der Zielgruppe verstanden werden.

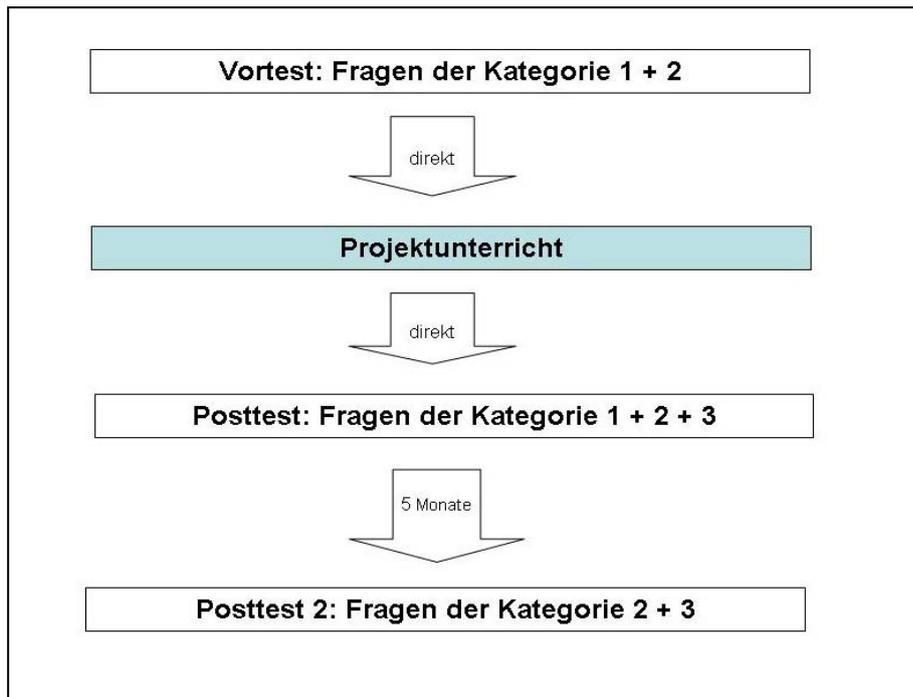


Abbildung 22: Untersuchungsdesign und Verwendung der Fragebögen

### **Fragen der Kategorie 1: Interesse an Sachunterricht und Interesse an selbständigem Experimentieren**

Um zu erheben, welche Einstellungen SchülerInnen gegenüber naturwissenschaftlichem Unterricht haben, werden verschiedene Methoden angewandt. *Rankings*, bei denen naturwissenschaftliche Fächer in Beziehung zu anderen Fächern gestellt werden (Osborne et al. 2003), werden ebenso verwendet wie Fragebögen, bei denen das Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern meist über Likertskalen erhoben wird (Pell und Jarvis 2001).

In dieser Arbeit habe ich eine Kombination eben dieser Methoden verwendet. Einerseits wurden die SchülerInnen nach ihrem Lieblingsfach gefragt, andererseits wurden Fragen zu ihrem Interesse am Sachunterricht formuliert (10.1.1). Da naturwissenschaftliche Themen in Österreichs Volksschulen im Rahmen des Sachunterrichtes vermittelt werden (gemeinsam mit geografischen und geschichtlichen Themen), kann aus diesen Fragen jedoch noch nicht mit Sicherheit auf Einstellungen zum naturwissenschaftlichen Unterricht geschlossen werden. Deshalb stellte ich zusätzlich Fragen, die sich speziell auf das Durchführen von Experimenten im Sachunterricht konzentrierten. Die Fragen sind an den Fragebogen von Pell und Jarvis (2001) angelehnt. Der Fragebogen (10.1.1) bestand aus einer 4-stufigen Likertskala und wurde sowohl vor als auch nach dem Projektunterricht angewandt, um eventuelle Interessensänderungen im Laufe des Projektes zu erheben.

## Fragen der Kategorie 2: Allgemeine Fragen zur Bedeutung der Pflanzen und zum Verständnis ausgewählter Kriterien eines wissenschaftlichen Experiments

In dieser Kategorie stellte ich acht Fragen, drei davon beziehen sich auf ausgewählte Kriterien wissenschaftlicher Experimente, fünf Fragen auf das Thema Fotosynthese bzw. die Bedeutung der Pflanzen für das Leben auf der Erde.

Zwei der fünf Fragen zur Bedeutung der Pflanzen waren offene Fragen (z.B. „Nenne zwei Gründe, warum wir in einer Welt ohne Pflanzen nicht leben können“) und drei Fragen waren geschlossen (*multiple choice* mit jeweils vier Antwortmöglichkeiten).

Die Fragen zu den Kriterien eines wissenschaftlichen Experimentes waren ebenfalls geschlossene Fragen mit vier verschiedenen Antwortmöglichkeiten. Die drei Kriterien, auf die ich mich konzentrierte waren i) das Einbeziehen einer Kontrollgruppe, ii) die Absicherung durch empirische Daten (z.B. Messergebnisse) und iii) das Isolieren einzelner Variablen. Die Fragen zu den Kriterien eines wissenschaftlichen Experiments waren gesondert gekennzeichnet (FF für Forscherfrage) und es wurde den SchülerInnen vor dem Ausfüllen des Fragebogens erklärt, dass es bei diesen Fragen um spezielle Fragen zum „wissenschaftlichen Forschen“ handelt.

FF: 2. Peter hat sechs Pflanzen geschenkt bekommen. Er möchte herausfinden, ob die Pflanzen in der Sonne oder im Schatten besser wachsen. Was sollte Peter machen?

- A - alle Pflanzen in die Sonne stellen
- B - drei Pflanzen in die Sonne stellen und drei Pflanzen in den Schatten
- C - alle Pflanzen in den Schatten stellen
- D - alle Pflanzen in die Sonne stellen, aber unbedingt genug gießen

Abbildung 23: Frage zu den Kriterien eines wissenschaftlichen Experiments (Kriterium: Kontrollgruppe)

FF: 5. Ihr wollt herausfinden, welche von drei Glühbirnen am hellsten leuchtet? Welche der Behauptungen ist die beste Möglichkeit, um die Antwort zu finden?

- A - "Eine Glühbirne sieht für mich am hellsten aus. Also weiß ich bereits die Antwort."
- B - "Alle Glühbirnen sehen für mich hell aus. Deshalb kann es keine Antwort geben."
- C - "Es wäre gut, wenn wir die Helligkeit der Glühbirnen messen könnten."
- D - "Wir machen eine Abstimmung. Jeder stimmt für jene Glühbirne, die er oder sie für die hellste hält."

Abbildung 24: Frage zu Kriterien eines wissenschaftlichen Experiments (Kriterium: Messbarkeit)

FF: 8. Wie könntest du am besten beweisen, dass eine Pflanze Wasser zum Leben braucht?

A - zwei verschiedene Pflanzen nehmen und eine nicht gießen, die andere schon.  
Nach drei Wochen die zwei Pflanzen vergleichen.

B - zwei gleiche Pflanzen nehmen und eine nicht gießen, die andere gießen.  
Nach drei Wochen die zwei Pflanzen vergleichen.

C - zwei verschiedene Pflanzen nehmen und beide nicht gießen.  
Nach drei Wochen die zwei Pflanzen vergleichen.

D - zwei gleiche Pflanzen nehmen und beide nicht gießen.  
Nach drei Wochen die zwei Pflanzen vergleichen.

Abbildung 25: Frage zu Kriterien eines wissenschaftlichen Experiments (Kriterium: nur einen Faktor ändern)

Zwei der drei Fragen zu den Kriterien eines wissenschaftlichen Experimentes sind an die Fragen zum Wesen der Naturwissenschaft der TIMSS Studie angelehnt (IEA 1997). Somit ist bei diesen zwei Fragen auch ein Vergleich mit dem nationalen Durchschnitt in Österreich möglich, da sich Österreich an der TIMSS Studie 1995 beteiligt hat.

### **Fragen der Kategorie 3: Vertiefende Fragen zum Thema Fotosynthese/Pflanzenwachstum**

Fotosynthese ist einer der wichtigsten biologischen Prozesse und gleichzeitig auch einer für SchülerInnen am schwierigsten zu verstehenden Prozesse (Marmaroti 2006). Die Fotosynthese umfasst verschiedene konzeptuelle Aspekte (ökologische Aspekte, energetische Aspekte, physiologische Aspekte, biochemische Aspekte) und zu allen Aspekten sind in der fachdidaktischen Literatur alternative SchülerInnenvorstellungen beschrieben (Marmaroti 2006).

Aufbauend auf diesen alternativen SchülerInnenvorstellungen haben Marmaroti und Galanopoulou (2006) einen Fragenbogen entwickelt, der die verschiedensten Aspekte der Fotosynthese berücksichtigt:

- Fragen zu physiologischen Aspekten der Fotosynthese: Wo findet Fotosynthese statt? Wann findet Fotosynthese statt? Bedeutung des Chlorophylls?
- Fragen zu energetischen Aspekten der Fotosynthese: Welche Rolle spielt die Sonne für die Fotosynthese?
- Fragen zu Fotosynthese als chemische Reaktion: Was wird für die Fotosynthese gebraucht? Was wird erzeugt?
- Fragen zu Fotosynthese und Autotrophie: Nehmen Pflanzen ihre Nahrung über die Umwelt auf?
- Fragen zu Fotosynthese und Pflanzenatmung: Ist Fotosynthese und Pflanzenatmung dasselbe? Wann atmen Pflanzen?
- Fragen zur ökologische Bedeutung von Fotosynthese: Können wir in einer Welt ohne Pflanzen leben?

Der erstellte Fragebogen wurde in Griechenland mit 292 13-14jährigen SchülerInnen getestet.

Aus diesem Fragebogen wählte ich sechs Fragen aus und stellte sie den SchülerInnen unmittelbar nach dem Projekt (Posttest) und 5 Monate nach dem Projekt (Posttest 2). Die sechs Fragen sind Fragen zu physiologischen und chemischen Aspekten der Fotosynthese und Fragen, die die autotrophe Natur der Pflanzen betreffen. Fragen zur ökologischen Bedeutung der Pflanzen werden bei Fragen der Kategorie 2 gestellt.

Bezüglich der Sachkompetenz (2.1.3.1) zielen die erstellten Unterrichtsmaterialien darauf ab, dass

- die SchülerInnen die ökologische Bedeutung der Fotosynthese verstehen.
- die SchülerInnen verstehen, dass sich Pflanzen anders als Tiere ernähren.
- die SchülerInnen den Prozess, mit dem Pflanzen ihre eigene Nahrung herstellen, in Grundzügen verstehen.
- die SchülerInnen verstehen, wie die Luft zusammengesetzt ist und wie sich Ausatemungsluft und Einatemungsluft unterscheiden.
- die SchülerInnen die Rolle der Pflanzen als Sauerstoffproduzenten verstehen.

Auf diese Aspekte richtete sich auch die Evaluation, deshalb wurden die Fragen zu energetischen Aspekten der Fotosynthese und Fragen zur Pflanzenatmung nicht in die Evaluation aufgenommen.

### **5.3.1.2 Semi-strukturierte Interviews mit SchülerInnen**

Zusätzlich zu den Fragebogeninterviews, führte ich semi-strukturierte Interviews mit Gruppen von SchülerInnen vor und nach dem Projekt. Die Gruppeneinteilung für die Befragung richtete sich nach der Gruppeneinteilung für das Projekt (5.2.1.1). Heath (1999) geht davon aus, dass Gruppeninterviews mit SchülerInnen in diesem Alter sinnvoller sind als Einzelinterviews, da die SchülerInnen in Gruppen schneller das notwendige Vertrauen aufbringen, um frei zu sprechen. Meine eigenen Erfahrungen zeigten, dass bei größeren Interviewgruppen (4-5 SchülerInnen) die Gespräche teilweise sehr mühsam werden können, da nicht alle gleichzeitig reden können und die restlichen SchülerInnen dann Konzentration und Interesse verlieren. Ein Gespräch mit zwei SchülerInnen gleichzeitig ist meiner Ansicht nach die ideale Voraussetzung für ein konstruktives Interview mit SchülerInnen zwischen 9 und 11 Jahren. Während ich bei den ersten drei Klassen noch mit allen SchülerInnen der einzelnen Gruppen Interviews führte, interviewte ich bei der letzten Klasse nur noch jeweils zwei SchülerInnen pro Gruppe. Diese zwei SchülerInnen habe ich per Zufallsstichprobe ausgewählt.

Die Interviews dienten zum Erheben der SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese vor und nach dem Projektunterricht. Da den wenigsten SchülerInnen in diesem Alter der Begriff Fotosynthese bekannt ist, konzentrierten sich die Fragen auf das Thema Luft (Unterschied Ausatemungsluft/Einatemungsluft) und das Thema Pflanzenwachstum.

Anstelle eines vorgefertigten Leitfadens mit verschiedenen Fragen verwendete ich für die Interviews visuelle Stimuli (10.2).

Für die Fragen zum Thema Luft blies ich in eine mitgebrachte Nylontasche und frage die SchülerInnen, ob sich die Luft in der Nylontasche ihrer Meinung nach von der Luft im Raum unterscheidet. Auf Basis der Antworten entwickelte sich ein Gespräch über Ein- und Ausatemungsluft und die Rolle der Pflanzen, die die „Luft wieder frisch machen“.

Um die SchülerInnenvorstellungen zum Thema Pflanzenwachstum zu erheben, verwendete ich einen *concept cartoon*, bei dem sich drei Kinder streiten, ob eine Karotte auch mit abgeschnittenen Blättern noch weiter wachsen kann. Der *concept cartoon* (10.2.1) basiert auf der weit verbreiteten und falschen Vorstellung, dass sich Pflanzen – ähnlich der heterotrophen Ernährungsweise der Tiere – hauptsächlich über den Boden ernähren. Der *concept cartoon* ist in eine Geschichte eingebettet, bei der ein Junge im Frühjahr Futter für seinen Hasen sucht. Er zieht eine Karotte aus der Erde im Garten der Mutter und sieht, dass die Karotte noch nicht groß genug sind, jedoch die Blätter bereits ausgebildet sind. Er schneidet also die Blätter ab und füttert sie dem Hasen, die Karotte steckt er wieder zurück in die Erde, damit die Mutter im Herbst die bis dahin ausgewachsenen Karotten ernten kann. Ausgehend von dieser Geschichte streiten sich im *concept cartoon* drei Kinder, ob die Karotte auch wirklich weiter wachsen kann. Dieser Streit dient als Stimulus für die Diskussion der Kinder in der Interviewsituation.

Als weiterer visueller Stimulus diente eine Zeichnung eines Baumes (100 kg) und desselben Baumes 5 Jahre später (200 kg). Was benötigt ein Baum nach Meinung der SchülerInnen, um in 5 Jahren 100 kg „zuzunehmen“?

Die Interviews dienten dem Erheben von SchülerInnenvorstellungen, deshalb achtete ich darauf, offene und schülerInnenzentrierte Fragen zu stellen (Harlen 2000). Es ist ein wesentlicher Unterschied ob ich frage: „Braucht eine Pflanze Blätter zum Wachsen?“ (geschlossen und sachorientiert) oder „Was braucht deiner Meinung nach eine Pflanze zum Wachsen?“ (offen und schülerInnenzentriert). Während die erste Frage SchülerInnen unter Druck setzt, die Frage richtig zu beantworten und teilweise auch zu raten, gibt es auf die zweite Frage keine falschen Antworten.

In einer Klasse führte ich 5 Monate nach dem Projekt noch einmal mit drei verschiedenen Gruppen Interviews, um zu erheben, ob die SchülerInnen auch fünf Monate nach dem Projekt noch den Zusammenhang zwischen den erarbeiteten Konzepten (Sachkompetenz) und den Prozessen (Methodenkompetenz), die zu diesen Konzepten führten, verstehen. Bei diesen Interviews verwendete ich Fotos, die die SchülerInnen bei den Experimenten in der Klasse zeigen, als Input (Abbildung 26). Ich fragte die SchülerInnen, ob sie noch wissen, was sie bei dem jeweiligen Experiment herausgefunden hatten, was sie mit diesem Experiment beweisen konnten. Diese Interviews führte ich jedoch nur in einer Klasse und nur mit drei Gruppen: einer Gruppe mit sehr guten SchülerInnen, einer Gruppe mit mittelmäßigen SchülerInnen und einer Gruppe mit eher schwächeren SchülerInnen.



Abbildung 26: Bilder, die bei den Fragen fünf Monate nach dem Projektunterricht als Beweisfotos verwendet wurden. a: Nachweis, dass in Ausatemluft weniger Sauerstoff ist als in Einatemluft; b: Nachweis, dass in Ausatemluft mehr Kohlendioxid ist als in Einatemluft; c: Nachweis, dass Pflanzen Kohlendioxid brauchen, um Sauerstoff zu produzieren; d: Nachweis, dass Pflanzen Licht brauchen, um Sauerstoff zu produzieren; e: Nachweis, dass sich Pflanzen nicht ausschließlich von Erde „ernähren“ können

### 5.3.1.3 Semi-strukturierte Interviews mit LehrerInnen

Die semi-strukturierten Interviews mit den die Unterrichtsmaterialien testenden LehrerInnen folgten einem Gesprächsleitfaden. Bei einem Interview nach Gesprächsleitfaden wird eine geschriebene Liste aller Fragen und Themen, die der/die InterviewerIn im Interview (in einer bestimmten Reihenfolge) in Form von offenen Fragen ansprechen will, verwendet. Die Verwendung eines solchen Gesprächsleitfadens ermöglicht es sowohl dem/der InterviewerIn als auch den Interviewten die Zeit während des Interviews effizient zu nutzen, indem auf gezielte Fragestellungen eingegangen wird. Gleichzeitig vermittelt der/die InterviewerIn der befragten Person das Gefühl, gut auf das Interview vorbereitet zu sein (Bernard 2002, Flick 2002).

Die Interviewfragen waren in sieben Bereiche unterteilt: 1) allgemeine Fragen zum Projektverlauf, 2) Fragen zur Mitarbeit der SchülerInnen, 3) Fragen zur Sachkompetenz, 4) Fragen zur Methodenkompetenz, 5) Fragen zur kognitiven Kompetenz, 6) Fragen zur Evaluation der Unterrichtsmaterialien und 7) Fragen zur langfristigen Implementierung der Unterrichtsmaterialien.

Die Interviews wurden jeweils nach Ende des Projektunterrichtes geführt, aufgenommen und transkribiert. Zwei LehrerInnen wurden gleichzeitig interviewt, da sie die Unterrichtsmaterialien unmittelbar nacheinander testeten. Mit einer Lehrerin führte ich kein Interview nach Projektende, da diese Lehrerin kurz nach Projektende für zwei Wochen im Krankenstand war (nicht aufgrund des aufreibenden Projektes, wie mir versichert wurde). Auch von dieser Lehrerin habe ich jedoch in informellen Gesprächen nach den jeweiligen Modulen und anhand ihres Projekttagebuches ein dokumentiertes Feedback zu den Unterrichtsmaterialien.

#### **5.3.1.4 Teilnehmende Beobachtung**

Bei der teilnehmenden Beobachtung steht der Beobachter nicht passiv-registrierend außerhalb des Untersuchungsbereichs, sondern nimmt selbst teil an der sozialen Situation (Mayring 2002), in meinem Fall an den Unterrichtssituationen in der Klasse und im Botanischen Garten. Im Unterschied zur direkten Prozessbeobachtung in der Aktionsforschung (Altrichter und Posch 2007), bei der die LehrerInnen ihren eigenen Unterricht beobachten, jedoch immer noch hauptberuflich LehrerInnen sind und den Unterricht leiten, nahm ich zwar an der sozialen Situation Unterricht teil, jedoch nicht als direkt handelnde Person, sondern als beobachtende Person. Bernard (2002) unterteilt die Rolle, die ein Forscher/eine Forscherin während der Feldforschung einnehmen kann in drei Typen: TeilnehmerIn, teilnehmender Beobachter/teilnehmende Beobachterin und BeobachterIn. In der Unterrichtssituation war ich teilnehmender Beobachter. Meine Hauptaufgabe bestand im Beobachten, Erstellen eines Unterrichtsprotokolls und im Aufschreiben von Anekdoten. Dennoch war es in den Unterrichtssituationen unmöglich, nur die Rolle des Beobachters einzunehmen. Fragen der SchülerInnen oder LehrerInnen involvierten mich immer wieder in das aktive Unterrichtsgeschehen.

Während ich alle Module in allen vier Klassen beobachtete, wurden die Module 1, 2, 4, 5 in drei Klassen zusätzlich von einer zweiten Person (Dr. Anja Christanell) beobachtet.

Während des Unterrichtes wurden handschriftlich möglichst detaillierte Unterrichtsprotokolle erstellt, welche – wenn möglich – noch am selben Tag in Word übertragen und ergänzt wurden. Ich verwendete die teilnehmende Beobachtung als rein qualitative Methode, das heißt die Beobachtungen waren offen, nicht standardisiert und die Beobachtungen wurden im narrativen Stil niedergeschrieben. Teilnehmende Beobachtung kann auch quantitativ erfolgen, wenn z.B. mit Beobachtungsbögen gearbeitet wird, in denen das Vorkommen von Beobachtungseinheiten angekreuzt wird (Mayring 2002).

#### **5.3.1.5 Forschungstagebuch**

Das Tagebuch ist eines der wichtigsten Werkzeuge forschender LehrerInnen (Altrichter und Posch 2007). Hier werden Beobachtungen festgehalten, Gedächtnisprotokolle und Gedankensplitter eingetragen.

Ich führte während der gesamten Datenerhebungsphase Tagebuch, wobei ich auch die Stundenbeobachtungen in das Tagebuch notiert habe. Das Tagebuch war für mich sehr hilfreich für die Interpretation meiner Beobachtungen und dem Strukturieren von Gedanken.

Es ist oft nicht einfach, Unterrichtsmaterialien, die man selbst entworfen hat, kritisch zu evaluieren, da einem die notwendige Distanz zur Arbeit fehlt. Über dieses Dilemma finden sich etliche Einträge in meinem Forschungstagebuch. Die ständige kritische Reflexion der eigenen Rolle in einem anwendungsorientierten Forschungsprojekt hat die Qualität der eigenen Arbeit positiv beeinflusst.

Während der Endphase der Datenanalyse und dem Zusammenschreiben der Dissertation reduzierte sich das Tagebuchführen immer mehr auf das Festhalten von zu erledigenden Dingen (To do-Listen), dem Planen von weiteren Schritten und dem Notieren von weiteren organisatorischen Belangen.

#### **5.3.1.6 Projektstagebuch der LehrerInnen**

Für die Zeit des Projektunterrichtes führten auch die beteiligten LehrerInnen ein Forschungstagebuch. Um die Reflexion des eigenen Projektunterrichtes zu erleichtern und zu fokussieren, gab ich Leitfragen vor, an welchen sich die LehrerInnen orientieren konnten (10.3). Vor Beginn des Projektes wurde mit den LehrerInnen geklärt, dass ich ihr Projektstagebuch gerne für die Evaluation der Materialien verwenden würde und deshalb auch kopieren möchte. Alle LehrerInnen waren damit einverstanden.

#### **5.3.1.7 Evidence mapping**

Die Methode des *evidence mapping* wurde bereits weiter oben beschrieben (4.4.4.1). Das Erstellen der *evidence maps* in Modul 10 diente einerseits der Wiederholung und Lernkontrolle der im Lauf des Projektes erarbeiteten Schlüsselkonzepte zum Thema Luft, Fotosynthese und Pflanzenwachstum. Andererseits wurden die *evidence maps* auch im Rahmen der Dissertation analysiert, um zu prüfen, ob die SchülerInnen den Zusammenhang zwischen den in den *maps* dargestellten Konzepten und den Prozessen, durch die die SchülerInnen diese Konzepte erarbeitet haben (auf den Fotos dargestellt) auch verstanden haben.

### **5.3.2 Datenverwaltung**

Alle Interviews wurden mit einem Mini Disc Recorder und einem anschließbaren externen Mikrofon analog aufgenommen. Die analogen Aufnahmen wurden meist noch am Tag der Aufnahme mit Hilfe der Software Audacity auf den Computer übertragen, digitalisiert und als \*.mp3 Dateien abgespeichert. Die digitalisierten Aufnahmen wurden mit Hilfe der Software Transcriber wörtlich transkribiert. Die Gruppeninterviews mit den SchülerInnen wurden nicht individualisiert, d.h. ich kann in dem transkribierten Interview nur nachvollziehen, was die SchülerInnen gesagt haben und was ich gesagt habe, jedoch die Aussagen nicht einer einzelnen Schülerin/einem einzelnen Schüler zuordnen. Meine Forschungsfragen richteten sich nicht auf den Wissenserwerb einzelner SchülerInnen. Ich wollte feststellen, welche Konzepte zu Pflanzenwachstum und Luft in meinem Sample von 84 SchülerInnen vor dem Unterricht vorhanden waren und welche Konzepte nach dem Unterricht vorhanden waren. Deshalb war es nicht notwendig, die Gruppeninterviews zu individualisieren.

Die Fragebögen wurden in SPSS 15.0 verwaltet und analysiert.

### **5.3.3 Datenanalyse**

#### **5.3.3.1 Analyse der quantitativen Daten**

Die Fragen der Kategorie 1 (Interesse) wurden mittels Inferenzstatistik analysiert. Die Daten wurden auf Ordinalskalenniveau erhoben und zeigen keine Normalverteilung. Aus diesem Grund sind nicht-parametrische Analysemethoden für Rangdaten die validesten Analyseverfahren (Bortz 2003).

Ob bereits im Volksschulalter genderbedingte Interessensunterschiede in Bezug auf den Sachunterricht festzustellen sind, wurde mittels dem U-Test von Mann-Whitney getestet. Der Mann-Whitney-U-Test ist das verteilungsfreie Pendant zum parametrischen t-Test und wird bei unabhängigen Stichproben angewendet. Der U-Test prüft, ob sich Merkmalsausprägungen (z.B. Interesse an selbständigem Experimentieren) in zwei zu

vergleichenden unabhängigen Stichproben (41 Mädchen und 43 Jungen) signifikant unterscheiden oder nicht.

Ein Prätest-Posttest-Vergleich bezüglich eventuell auftretender Interessensänderungen kann parameterfrei mit dem Vorzeichentest oder – mit strengeren Voraussetzungen – mit dem Vorzeichenrangtest nach Wilcoxon geprüft werden (Bortz 2003).

Um zu testen, ob der Projektunterricht zu Interessensänderungen bezüglich selbständigem Experimentieren im Sachunterricht führte, verwendete ich den Vorzeichenrangtest nach Wilcoxon. Beim Wilcoxon-Test werden die paarigen Messungen (Vortest und Nachtest) daraufhin untersucht, ob sie sich in Bezug auf bestimmte Merkmale unterscheiden oder nicht. So kann z.B. eine SchülerIn/ein Schüler vor dem Projekt das Interesse an selbständigem Experimentieren mit 2 (eher gern) bewertet haben, nach dem Projektunterricht (durch positive Erfahrungen mit selbständigem Experimentieren) mit 1 (sehr gern) bewerten. Bei 84 SchülerInnen kann es nun welche geben, bei denen sich das Interesse an selbständigem Experimentieren erhöht hat, welche, bei denen es gleich geblieben ist und welche, bei denen das Interesse abgenommen hat. Mit dem Wilcoxon-Test habe ich überprüft, ob sich die zwei abhängigen Stichproben (Prä/Post) in ihrer Tendenz unterscheiden.

Die Fragen der Kategorie 2 (Bedeutung der Pflanzen/Kriterien wissenschaftlichen Arbeitens) und 3 (Vertiefungsfragen Fotosynthese) wurden mittels deskriptiver Statistik analysiert. Die Fragen der Kategorie 2 waren teils offen und teils geschlossen und wurden nach dem zweigliedrigen System (richtig/falsch) bewertet und analysiert (z.B. 35% richtig, 65% falsch). Die Fragen der Kategorie 3 waren ausschließlich Multiple Choice Fragen, bei denen ich die jeweiligen Antwortkategorien als Bewertungsschema (10 % Antwort A, 80% Antwort B, 6% Antwort C und 4% Antwort D) verwendete.

### **5.3.3.2 Analyse der qualitativen Daten**

Alle transkribierten Interviews wurden mit verschiedenen Methoden der qualitativen Datenanalyse untersucht. Jorgensen (1989) definiert qualitative Datenanalyse als

*“...breaking up, separating or disassembling of research materials into pieces, parts, elements, or units. With facts broken down into manageable pieces, the researcher sorts and sifts them, searching for types, classes, sequences, processes, patterns or wholes. The aim of this process is to assemble or reconstruct the data in a meaningful or comprehensible fashion (Jorgensen 1989, 107).”*

Ziel der qualitativen Datenanalyse ist es also, in den zunächst noch unsortierten Daten (z.B. Interviewtranskripte, Beobachtungsprotokolle,...) nach Strukturen und Kohärenzen zu suchen, die schlussendlich zu einer schlüssigen Interpretation der Daten führen.

Qualitative Datenanalyse ist jedoch nicht nur hypothetisch-deduktiv (Hypothesen prüfend) sondern eignet sich auch hervorragend zur explorativ-interpretativen (Hypothesen generierende) Erschließung des Datenmaterials (Mayring 2002).

In der modernen qualitativen Forschung werden verschiedenste Methoden der Datenanalyse unterschieden. Am Beispiel meiner eigenen Analysen möchte ich kurz auf jene zwei Methoden der qualitativen Textanalyse eingehen, die ich in dieser Arbeit verwendet habe: die Analyse nach der Vorgehensweise der *Grounded Theory* (Glaser und Strauss 1967) und die qualitative Inhaltsanalyse (Bernard 2002).

### 5.3.3.2.1 Grounded Theory

Die *Grounded Theory* zählt zu den wichtigsten „Traditionen“ der qualitativen Textanalyse und wurde in den 60iger Jahren des 20. Jahrhunderts von Soziologen entwickelt. Die *Grounded Theory* arbeitet mit einem Set von Techniken für i) das Identifizieren von Kategorien und Konzepten, die aus dem Text entstehen, und ii) das Verbinden von Konzepten zu formalen Theorien (Bernard 2002).

Die *Grounded Theory* folgt nicht dem Ideal des kritischen Rationalismus (Karl Popper), an dem sich auch die naturwissenschaftliche Forschung orientiert. Die *Grounded Theorie* ist nicht dazu konzipiert, bereits vor der Datenerhebung aufgestellte Hypothesen zu überprüfen, sondern lässt die Konzeptbildung während der Datenerhebung bewusst zu.

Genau aus diesem Grund eignet sich die *Grounded Theorie* hervorragend, um explorativ die SchülerInnenvorstellungen zu einem bestimmten Thema zu analysieren. Man nähert sich ohne Hypothesen den Interviewdaten und erarbeitet sich die SchülerInnenvorstellungen auf Basis der Interviews mit den SchülerInnen.

Angelehnt an Bernard (2002) folgt die *Grounded Theory* folgenden Analyseschritten:

- Lesen von Interviewtranskripten und Identifizieren von potentiellen analytischen Kategorien bzw. Themen, die beim Lesen auftauchen
- Alle Daten der in Erscheinung tretenden Kategorien zusammenziehen und vergleichen und erkennen, wie die Kategorien miteinander verbunden sind
- Beziehungen der Kategorien zueinander nutzen, um theoretische Modelle zu bilden, und dabei diese Modelle kontinuierlich mit den Daten prüfen
- Darstellen der Ergebnisse mit Verwenden von Interviewzitate, die die aus der Analyse entstandenen Theorien verdeutlichen und erläutern.

Begleitend zu diesem Analyseprozess werden in so genannten „Memos“ Notizen zur Kodierung und erste Interpretationen des Texts festgehalten.

In Folge werde ich am Beispiel meiner eigenen Vorgehensweise beim Analysieren der Interviews mit den SchülerInnen vor dem Projektunterricht (Prätest) die einzelnen Analyseschritte der *Grounded Theory* im Detail erläutern.

Schritt 1: Das Kodieren von Themen bzw. Kategorien

*“The heart of grounded theory is identifying themes in texts and coding the texts for the presence or absence of those themes. Coding turns free-flowing texts into a set of nominal variables”* (Bernard 2002, 463)

Beim Kodieren von Texten werden das induktive und das deduktive Kodieren unterschieden. Die *Grounded Theory* basiert vor allem auf induktivem bzw. „offenem“ Kodieren. Die Idee dahinter ist es, zum einem durch eine enge Auseinandersetzung mit dem Text vertraut zu werden und diesen zu verstehen, zum anderen durch das Kodieren Verhaltens- oder Gedankenmuster im Text zu entdecken.

In der induktiven Forschung, wie der *Grounded Theory*, beginnen viele ForscherInnen ihre Analysen damit, Texte zu lesen und bestimmte Stellen zu markieren. Wenn in Folge die

markierten Textstellen mit bestimmten Schlagwörtern (Kodes) versehen werden, so ist dieses Verschlagworten bzw. Kodieren von Texten bereits eine erste Analyse der Daten<sup>3</sup>.

Ich habe also angefangen die Interviewtranskripte zu lesen und zu kodieren. Beim ersten Analyseschritt haben sich die von mir verwendeten Kodes sehr nahe am Text orientiert. Strauss and Corbin (1990) empfehlen die tatsächlichen Ausdrücke bzw. Redewendungen der interviewten Personen als Kodes zu verwenden. Diese Art von Kodieren wird als „In Vivo Coding“ bezeichnet.

In einem Interview sagte eine Schülerin Folgendes (der Frage ging ein visueller Stimulus mit einer Nylontasche voraus (5.3.1.2):

*I: Wenn ich nur noch über das (Anm.: Nylontasche) atmen würde, was würde dann mit mir passieren?*

*K: Dann würdest du schlechte Luft einatmen.*

*I: Ok, also die Luft da drinnen ist schlecht. Und die Luft da herinnen ist besser?*

*K: Ja besser und da draußen ist es noch besser!*

Für diesen Interviewabschnitt vergab ich den Kode „Luft – schlechte Luft“. In anderen Interviews wurden „schmutzige Luft“ oder „wenig Luft“ für Ausatemungsluft verwendet. Auch hier verwendete ich die Redewendungen der SchülerInnen als Kodes.

In einem anderen Interview sagten SchülerInnen zum Thema Pflanzenwachstum (visueller Stimulus war ein Baum mit 100 kg und derselbe Baum 5 Jahre später mit 200 kg):

*I: Und was braucht so ein Baum zum Wachsen?*

*K: Wasser.*

*K: Sauerstoff.*

*K: Freundlichkeit. Wenn man ihn auf den Boden schmeißt, geht er vielleicht kaputt.*

Für dieses Zitat vergab ich die Kodes „Baum – Wasser“, „Baum – Sauerstoff“, „Baum – Freundlichkeit“.

Auf diese Weise wurden Schritt für Schritt alle transkribierten Interviews kodiert. Wie sich herausstellte, unterschieden sich die SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese nicht wesentlich, wodurch sehr oft dieselben Kodes verwendet wurden. Im Verfahren der Grounded Theory ist es jedoch wichtig, sich nicht zu sehr auf die bereits vergebenen Kodes zu konzentrieren und diese immer wieder anzuwenden, sondern dem Text offen zu begegnen und auch neue Strukturen aufzudecken.

---

<sup>3</sup> „No matter how you actually *do* inductive coding - ... - by the time you identify the themes and refine them to the point where they can be applied to an entire corpus of texts, a lot of interpretative analysis has already been done. Miles and Huberman say simply: ‘Coding is analysis’ (1994).” (Bernard 2002, 465)

So hat sich zum Beispiel in einem Interview folgendes Gespräch entwickelt:

*I: Das sollten wir eigentlich nächste Woche lernen, woher wisst's ihr das denn schon?*

*K: Irgendwo aufgeklaut.*

*I: Irgendwo aufgeklaut.*

*K: Forscherexpress.*

Diesen Absatz habe ich mit „Fernseher – Forscherexpress“ kodiert. Wie sich im Laufe der weiteren Textanalyse herausstellte, scheint der „Forscherexpress“ einen Beitrag zum naturwissenschaftlichen Verständnis der SchülerInnen zu leisten. Der Kode „Fernseher – Forscherexpress“ wurde in 20% der Interviews vergeben.

Schritt 2: Bilden von konzeptuellen Modellen durch das Verfassen von Memos

*“Memoing is taking ‘field notes’ on observations about texts” (Bernard 2002, 469)*

Der nächste Schritt nach dem Kodieren von Textstellen, ist es herauszufinden wie die verschiedenen Themen in einem theoretischen Modell miteinander in Verbindung stehen. Beim Verfassen von Memos werden kontinuierlich alle Gedanken niedergeschrieben über das was man gerade liest. Aufgrund dieser Gedanken bzw. Informationen, die in Memos festgehalten werden, ist es später möglich Theoriemodelle zu entwickeln (Bernard 2002, Mayring 2002).

Zu Beginn der Textanalysen habe ich während dem Lesen und Kodieren der Transkripte immer wieder Memos geschrieben, jedoch nicht systematisch und kontinuierlich. In den Memos wurden Gedanken zum Text niedergeschrieben, auf die ich später beim Zusammenschreiben der Dissertation immer wieder zurückgreifen konnte. So stellte ich z.B. schon nach der Analyse weniger Interviewtranskripte fest, dass sich die SchülerInnenvorstellungen zu Pflanzenwachstum nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Sie haben fast ausschließlich makro-phänomenologische Erklärungen für das Pflanzenwachstum und nennen die Faktoren Licht, Wasser und Erde. Sie haben jedoch keine klaren Vorstellungen, wie aus diesen drei „Zutaten“ Holz oder neue Blätter entstehen könnten und vernachlässigen die Faktoren Blattgrün und Kohlendioxid. Zudem wird Erde als Ganzes wahrgenommen und die Pflanzen brauchen Erde und nicht Bodenminerale. Diese Beobachtungen am Text schrieb ich in Form von Memos zusammen und auf diese Weise entwickelte ich schrittweise ein Erklärungsmodell über Vorstellungen von zehnjährigen SchülerInnen zu Pflanzenwachstum.

Schritt 3: Darstellen von Konzepten und Modellen

Durch das Kodieren und dem Verfassen von Memos entstehen Schritt für Schritt Erklärungsmuster und Modelle, die direkt aus dem Text entstehen<sup>4</sup>.

Sobald sich Modelle bzw. Muster im Text erkennen lassen, ist es wichtig die weiteren Daten darauf zu überprüfen, ob diese Modelle auch tatsächlich zutreffen. Wenn ich beispielsweise nach der Analyse von 10 Interviews meine ersten Modelle entwickelt habe,

---

<sup>4</sup> “When the steps of the grounded-theory approach are followed, models or theories are produced that are, indeed, *grounded* in the text.” (Bernard 2002)

war es wichtig, die Gültigkeit dieser Modelle anhand der weiteren Interviewtranskripte zu prüfen.

*“These models, however, are not the final product of the grounded-theory approach. In their original formulation, Glaser and Strauss emphasized that the building of grounded-theory models is a step in the research process. The next step, of course, is to confirm the validity of a model by testing it on an independent sample of data.”* (Bernard 2002, 471)

Sobald sich Muster im Text erkennen lassen, ist es auch wichtig auf negative Fälle zu achten, die nicht in diese Muster passen. Negative Fälle widerlegen entweder Teile des Modells oder zeigen neue Verbindungen auf und sollten auf jeden Fall in die Darstellung von Ergebnissen miteinbezogen werden (Bernard 2002).

Wie bereits weiter oben beschrieben, erkannte ich bald, dass die SchülerInnen zwar wichtige Faktoren für das Pflanzenwachstum nennen konnten, jedoch keine mikro-konzeptuellen Erklärungen dafür anbieten konnten. Alle weiteren Transkripte wurden daraufhin untersucht, ob dieses Muster auch zutrifft. Dabei stieß ich auf folgenden Gesprächsausschnitt, der im Gespräch mit einer Gruppe sehr guter SchülerInnen entstand (eine Schülerin dieser Gruppe war eine besonders gute Schülerin):

*I: Das ist hart. Wie wird denn aus diesem flüssigen Wasser hartes Holz?*

*K: Mmh.*

*K: Das ist so wie wenn ... Also ich würde jetzt einfach mal so sagen, also wenn wir irgendwo was essen oder trinken oder so was, werden wir auch stärker und so wird die Pflanze halt größer und breiter und so.*

*K: Die isst ja auch. Die macht aus der Luft und dem Zeugs ja Fotosynthese, macht sie so einen Schleim und das ist halt ihre Nahrung.*

*I: Ah, ok. Also sie macht einen Schleim und das isst sie. Also die isst nicht nur Wasser, sondern sie macht aus dem Wasser was anderes.*

*K: Ja und Erde, da nimmt sie eigentlich nur die Mineralstoffe heraus.*

Dieser Gesprächsausschnitt widerspricht meiner Theorie, dass 10jährige SchülerInnen Pflanzenwachstum ausschließlich auf makro-phänomenologischer Ebene beschreiben. Eine Schülerin weiß bereits, dass die Pflanzen mit Hilfe der Fotosynthese ihre eigene Nahrung herstellen (so einen Schleim) und diese für ihr Wachstum verwendet und sie unterscheidet ganz eindeutig zwischen Erde und Bodenmineralen.

#### Schritt 4: Verwenden von Zitaten

Eine der wichtigsten Methoden in der *Grounded Theory* Analyse ist die Präsentation von ausgewählten Originalzitaten der InterviewpartnerInnen, die die Konzepte und Theorien, die vom Forscher gebildet wurden, verdeutlichen oder als Beispiele für Ausnahmen dienen (negative Fälle). So habe ich in meinen Ergebnissen immer wieder Originalzitate der interviewten SchülerInnen exemplarisch angeführt.

Ich analysierte sowohl die Interviews der Prätests als auch die Interviews der Posttests nach der Vorgehensweise der *Grounded Theory*. So war es mir möglich, die SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese/Pflanzenwachstum vor und nach dem Projektunterricht zu analysieren und festzustellen, wie sich ihr Konzept verändert hat.

#### 5.3.3.2.2 Inhaltsanalyse

Eine konzeptuelle Weiterentwicklung vom Verständnis von naturwissenschaftlichen Themen beinhaltet auch eine sprachliche Weiterentwicklung von einer Alltagssprache zur Verwendung einer klaren Sprache unter der Verwendung wissenschaftlicher Termini (Keogh und Naylor 2002).

Während sich der *Grounded Theory* Ansatz sehr gut eignet, um SchülerInnenkonzepte zu erfassen, verwendete ich die Inhaltsanalyse, um zu überprüfen, ob sich die Sprache der SchülerInnen im Lauf des Projektes auch tatsächlich weiterentwickelt.

Die Inhaltsanalyse ist eine primär kommunikationswissenschaftliche Technik, die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in den USA zur Analyse der sich entfaltenden Massenmedien (Zeitungen, Radio) entwickelt wurde. Die Massenmedien wurden systematisch – und meist quantitativ – ausgewertet, um ihren gesellschaftlichen Einfluss zu analysieren (Mayring 2002).

Mit der Inhaltsanalyse wird die Häufigkeit bestimmter Motive im Material analysiert, mit einem Schwerpunkt auf das Auszählen und Bewerten bestimmter Textelemente.

Während die *Grounded Theory* hauptsächlich hypothesen-generierend arbeitet, dient die Inhaltsanalyse dem Testen von Hypothesen. Dabei folgt die Inhaltsanalyse folgenden Schritten (Bernard 2002):

- 1: Theoriegeleitetes Erstellen von Kodes
- 2: Anwenden dieser Kodes auf ein Set an Texten
- 3: Erstellen von Kodes-per-Text-Matrizen
- 4: Statistische Analyse dieser Matrizen

Im Gegensatz zur *Grounded Theorie* basiert die Inhaltsanalyse also auf deduktivem Kodieren, bei dem bereits vor dem Kodieren bestimmte Kodes festgelegt werden, um eine Hypothese zu falsifizieren oder verifizieren.

Um zu testen, ob sich die Sprache der SchülerInnen von einer Alltagssprache zu einer wissenschaftlicheren Sprache zum Thema Pflanzenwachstum weiterentwickelt, erstellte ich vor dem Kodieren ein Set von Kodes, auf dessen Basis ich die Interviewtranskripte analysierte. Beispiele für die verwendeten Kodes sind Luft-Sauerstoff, Luft-Stickstoff, Luft-Kohlendioxid, Pflanzenwachstum-Licht, Pflanzenwachstum-Kohlendioxid, Pflanzenwachstum-Blattgrün, Pflanzenwachstum-Stärke, Pflanzenwachstum-Zucker usw.

Durch das Erstellen von Matrizen konnte ich vergleichen und analysieren, wie oft bestimmte Fachausdrücke in den Interviews vor dem Projektunterricht und nach dem Projektunterricht verwendet wurden.

#### 5.3.3.2.3 Computerunterstützte Qualitative Datenanalyse mit atlas.ti

Man kann Texte nach wie vor händisch analysieren. Während vor 25 Jahren noch mit Textmarkern und Scheren kodiert wurde (vgl. Schneider und Conrad 1983), hat die Technologisierung der Gesellschaft in den letzten 25 Jahren auch vor der qualitativen Datenanalyse nicht Halt gemacht. Seit den 60iger Jahren des 20. Jahrhunderts werden Computerprogramme zur Analyse qualitativer Daten entwickelt und weiterentwickelt. Zu den bekanntesten Programmen zählen NVivo, NUDIST und atlas.ti.

Die Computerprogramme übernehmen nicht die Analyse des Textes, helfen jedoch wesentlich die Daten zu ordnen und managen. Markieren mit Leuchtstiften wurde durch

das Markieren per Mausklick ersetzt. Ausschneiden mit der Schere wurde durch Kodeabfragen per Mausklick ersetzt, mit denen in Sekundenschnelle alle Zitate zu einem bestimmten Kode abgefragt werden können. Das Forschungstagebuch wurde durch die im Programm integrierte Memo-Funktion ersetzt.

Die Grundfunktionen von atlas.ti orientieren sich stark an der *Grounded Theorie* und dem induktiven, offenen Kodieren. Jedoch auch das deduktive Kodieren (vgl. Inhaltsanalyse) ist mit atlas.ti möglich.

Atlas.ti unterstützt hauptsächlich beim Kodieren des Textes, dem Zusammenstellen aller Zitate zu einem bestimmten Kode, dem Erstellen von Kodekategorien (Codefamilies), dem Kommentieren bestimmter Textabschnitte in Memos und auch dem Generieren von quantitativen Outputs (z.B. Kode-per-Text-Matrizen), die dann in speziellen Statistikprogrammen (z.B. SPSS) analysiert werden können.

### **5.3.3.3 Analyse der evidence maps**

Die in Modul 10 erstellten *evidence maps* habe ich daraufhin analysiert, ob die SchülerInnen den Zusammenhang zwischen den in den *maps* dargestellten Konzepten und den Prozessen, durch die die SchülerInnen diese Konzepte erarbeitet haben (auf den Fotos dargestellt) verstanden haben. Dazu habe ich ein dreistufiges Wertungssystem verwendet:

- Foto des Experiments wird einem in der *map* dargestellten Konzept korrekt zugeordnet
- Foto des Experiments wird einem in der *map* dargestellten Konzept nicht korrekt zugeordnet
- Foto des Experiments wird keinem der in der *map* dargestellten Konzepte zugeordnet

### 5.3.4 Zusammenfassung der verwendeten Methoden zur Datenerhebung und Datenanalyse in Bezug auf die Forschungsfragen

Tabelle 5: Zusammenfassung Forschungsfrage, Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung, Zeitpunkt der Datenerhebung und Sample

Forschungsfrage	Methoden der Datenerhebung	Methoden der Datenauswertung	Zeitpunkt der Datenerhebung	Sample
Ist bereits im Volksschulalter mangelndes Interesse an naturwissenschaftlichen Inhalten festzustellen?	Fragebögen Kategorie 1; Ranking Lieblingsfach	SPSS; deskriptive Statistik	Prätest	84 SchülerInnen
Sind bereits im Volksschulalter genderspezifische Interessensunterschiede bezüglich naturwissenschaftlichen Inhalten festzustellen?	Fragebögen Kategorie 1; Ranking Lieblingsfach	SPSS; Mann-Whitney-U-Test	Prätest	84 SchülerInnen
Welchen Einfluss hat der durchgeführte Projektunterricht auf das Interesse der SchülerInnen?	Fragebögen Kategorie 1	SPSS, Wilcoxon Test	Prätest, Posttest	84 SchülerInnen
Welche Vorstellungen zu Pflanzenwachstum haben die teilnehmenden SchülerInnen vor dem Projektunterricht?	Semistrukturierte Interviews Fragebögen Kategorie 2	Qualitative Datenanalyse mit Atlas.ti (Grounded Theory) Deskriptive Statistik	Prätest	Gruppeninterviews (n=20 Gruppen)
Welche Vorstellungen zu Pflanzenwachstum haben die teilnehmenden SchülerInnen nach dem Projektunterricht?	Semistrukturierte Interviews	Qualitative Datenanalyse mit Atlas.ti (Grounded Theory)	Posttest	Gruppeninterviews (n=20 Gruppen)
	Fragebögen Kategorie 2+3	Deskriptive Statistik	Posttest2	84 SchülerInnen
Ändert sich die Sprache der SchülerInnen beim Artikulieren ihrer Vorstellungen im Lauf des Projektes?	Semistrukturierte Interviews	Qualitative Datenanalyse mit Atlas.ti (Inhaltsanalyse)	Prätest, Posttest	Gruppeninterviews (n=20 Gruppen)
Welche Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens verwenden die SchülerInnen beim selbständigen Planen, Durchführen und Evaluieren einfacher Experimente?	Beobachtungsprotokolle	Qualitative Datenanalyse mit Atlas.ti	Während des Projektunterrichts	Stundenbeobachtung in 4 Klassen
Ändert sich im Lauf des Projektunterrichts das Verständnis der SchülerInnen zu ausgewählten Prozessmerkmalen wissenschaftlichen Arbeitens?	Fragebögen Kategorie 2	Deskriptive Statistik	Prätest, Posttest, Posttest 2	84 SchülerInnen
Verstehen die SchülerInnen den Zusammenhang zwischen ihrem Wissen zum Thema Fotosynthese und den Prozessen, die zu diesem Wissen führen?	<i>Evidence maps</i> Semistrukturierte Interviews mit Fotos von Experimenten	Analyse der <i>evidence maps</i> Qualitative Datenanalyse mit Atlas.ti	Während des Projektunterrichts Posttest 2	Gruppen (n=20 Gruppen) Gruppeninterviews (n=3 Gruppen)
Fördern die erstellten Unterrichtsmaterialien die kognitive Kompetenz der SchülerInnen, auf Basis der selbständig durchgeführten Experimente gültige Schlussfolgerungen zu ziehen?	Arbeitsblätter Semistrukturierte Interviews mit LehrerInnen Forschungstagebuch LehrerInnen	Analyse der Arbeitsblätter Qualitative Datenanalyse mit Atlas.ti	Nach dem Projekt	84 SchülerInnen 4 LehrerInnen

## 5.4 Ergebnisse und Diskussion

### 5.4.1 Interesse und Einstellungen

Anders als in England und den USA, wo der naturwissenschaftliche Bildungsauftrag in der Volksschule mit einem eigenen Fach (*science*) wahrgenommen wird, werden naturwissenschaftliche Themen gemeinsam mit geografischen, wirtschaftlichen und geschichtlichen Themen an Österreichs Volksschulen im Rahmen des Sachunterrichtes behandelt.

Auf die Frage, welches ihr Lieblingsfach sei, nennen 14% der befragten SchülerInnen Sachunterricht. 42% nennen Turnen und 26% Mathematik als Lieblingsfach. Werken und Bildnerische Erziehung habe ich zusammengefasst. 10% der SchülerInnen nennen diese zwei Fächer als Lieblingsfach. 6% der SchülerInnen nennen Deutsch und 2% der SchülerInnen Musik als Lieblingsfach (Abbildung 27).

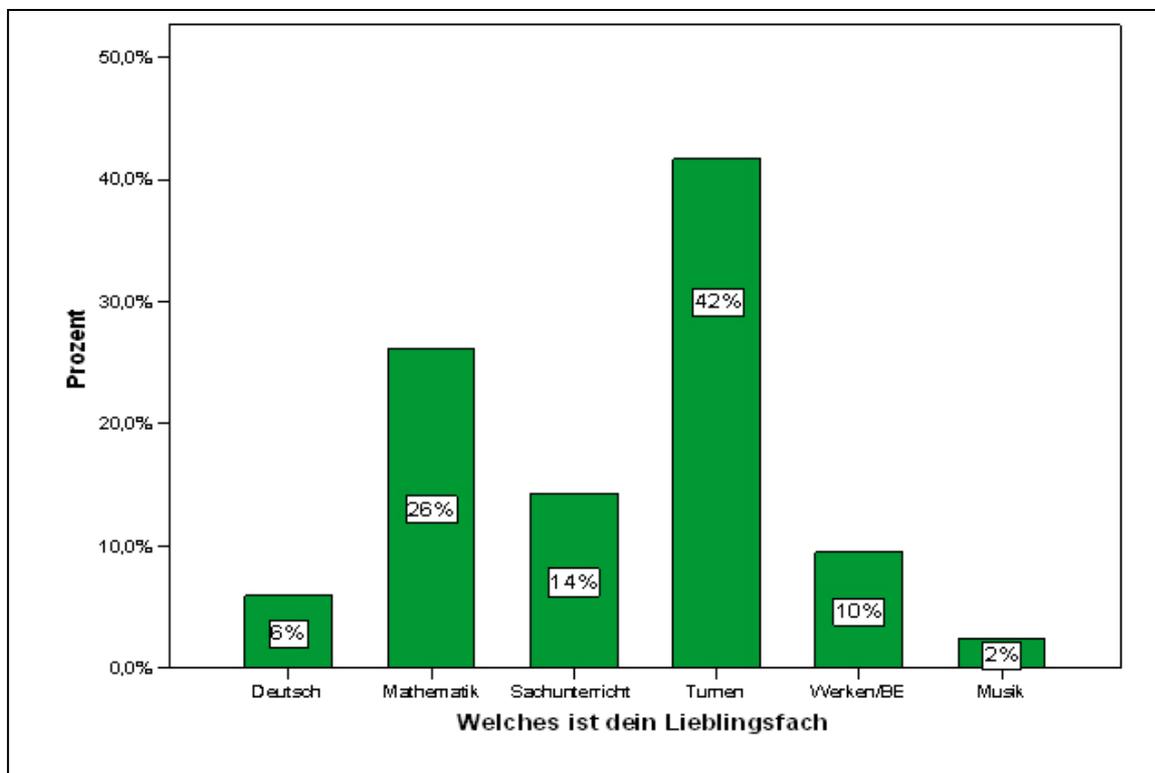


Abbildung 27: Lieblingsfach der SchülerInnen (n=84) in Prozent

Die Frage nach dem Lieblingsfach ist eine einfache Methode, um schnell festzustellen, welchen Stellenwert ein bestimmtes Fach bei den SchülerInnen hat. Die Daten sind leicht zu erheben und darzustellen. Diese Methode sollte jedoch nicht alleine verwendet werden, da sie zwar Schlüsse auf das jeweilige Lieblingsfach der SchülerInnen zulässt, aber man auf Basis dieser Daten nicht gesichert sagen kann, ob ein Fach bei den SchülerInnen sehr beliebt oder wenig beliebt ist. Es kann z.B. sein, dass eine Schülerin/ein Schüler zwar eine sehr positive Einstellung zu Sachunterricht hat, jedoch Turnen noch lieber mag. Aus diesem Grund stellte ich zusätzlich einige Fragen, bei der die SchülerInnen ihr eigenes Interesse am Sachunterricht auf einer 4-stufigen Likertskala bewerten sollten.

Obwohl die befragten SchülerInnen Sachunterricht nicht unbedingt für ein sehr leichtes Fach halten, lernen die meisten SchülerInnen gerne Sachunterricht. Ein Großteil der

SchülerInnen gibt an, dass die Aussage „Sachunterricht ist langweilig“ für sie nicht zutrifft (Tabelle 6).

Tabelle 6: SchülerInnen (n=84) bewerten ihr Interesse an Sachunterricht (1= stimmt genau, 2= stimmt eher schon, 3= stimmt eher nicht, 4= stimmt nicht)

	Mädchen			Jungen		
	N	Mittel	Std.Abw.	N	Mittel	Std.Abw.
Ich lerne gerne Sachunterricht	41	1,49	,637	43	1,47	,667
Sachunterricht ist langweilig	41	3,56	,769	43	3,65	,783
Sachunterricht ist ein leichtes Fach	41	2,22	,881	43	2,07	,910

Gemeinsam mit der Frage nach dem Lieblingsfach legen die Ergebnisse nahe, dass die SchülerInnen am Übergang Primar/Sekundarstufe eine sehr positive Einstellung zum Fach Sachunterricht haben. Aus diesen Auswertungen lassen sich aber noch keine eindeutigen Rückschlüsse auf Interesse an naturwissenschaftlichen Themen oder naturwissenschaftliche Arbeitsweisen ziehen, da im Sachunterricht nicht nur naturwissenschaftliche Themen behandelt werden, sondern auch Themen, die in der Sekundarstufe in den Bereich Geografie und Geschichte fallen würden.

Aus diesem Grund stellte ich sowohl vor (Prätest) und nach dem Projektunterricht (Posttest) zusätzliche Fragen, die sich speziell auf das naturwissenschaftliche Arbeiten (mit besonderer Berücksichtigung von Experimentieren) im Sachunterricht konzentrierten.

Die Ergebnisse des Prätest zeigen, dass die SchülerInnen besonders gerne selber experimentieren oder der Lehrerin/dem Lehrer beim Experimentieren zuschauen. Ausflüge machen ist ebenso positiv besetzt wie das gemeinsame Arbeiten mit MitschülerInnen. Es lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Interesse an „Alleine Arbeiten“ und „mit meinen MitschülerInnen arbeiten“ feststellen (Tabelle 7).

Interessanterweise zeigt sich im Prätest ein signifikanter Unterschied zwischen Item 4 (die Lehrerin erklärt uns, wie ein Experiment funktioniert) und Item 5 (ich finde selber heraus, wie ein Experiment funktioniert). Obwohl selber experimentieren sehr positiv bewertet ist, bevorzugen die SchülerInnen, von der Lehrerin/dem Lehrer eine Erklärung für das Experiment und die Ergebnisse zu bekommen und nicht selber die Lösung für ein Problem finden zu müssen. Die SchülerInnen mögen also die *hands-on* Phasen, das *minds-on*, das Ziehen von Schlüssen aus den eigenen Beobachtungen überlassen sie aber lieber der Lehrerin oder dem Lehrer.

Pell und Jarvis (2001) und Parkinson et al. (1998) kommen bei ihren Umfragen in England zu ähnlichen Ergebnissen. „Highlights“ des naturwissenschaftlichen Unterrichts sind laut diesen zwei Studien das selbständige Experimentieren und die Möglichkeit mit den MitschülerInnen zu arbeiten. Auch bei der Studie von Pell and Jarvis (2001) zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen „Ich finde selbständig heraus, wie ein Experiment funktioniert“ und „die Lehrerin/der Lehrer erklärt uns, wie ein Experiment funktioniert“.

Tabelle 7: Interesse an verschiedenen Aktivitäten im Sachunterricht (1=sehr gern, 2= gern, 3= eher nicht gern, 4= nicht gern)

Wie gerne machst du folgende Dinge im Sachunterricht?	Prätest		
	N	Mittel	Std.Abw.
1 Mit Arbeitsblättern arbeiten	84	1,76	,75
2 Der Lehrerin beim Experimentieren zuschauen	84	1,19	,55
3 Selber experimentieren	84	1,08	,39
4 Die LehrerIn erklärt uns, wie ein Experiment funktioniert	84	1,32*	,64
5 Du findest selber heraus, wie ein Experiment funktioniert	84	1,62*	,87
6 Mit meinen MitschülerInnen arbeiten	84	1,31*	,56
7 Alleine Arbeiten	84	2,26*	,99
8 Ausflüge machen	84	1,08	,35

\* Signifikanter Unterschied zwischen verschiedenen Items innerhalb des Prätests, Wilcoxon test,  $\alpha = .05$

Zusammenfassend lässt sich aufgrund der Aussagen der 84 befragten SchülerInnen sagen, dass die SchülerInnen größtenteils eine sehr positive Einstellung zum Fach Sachunterricht haben, obwohl sie es nicht für ein leichtes Fach halten. Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen im Rahmen des Sachunterrichtes wie selbständig Experimentieren sind sehr positiv besetzt. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die SchülerInnen mit sehr positiven Einstellungen gegenüber dem naturwissenschaftlichen Unterricht in die Hauptschule oder das Gymnasium wechseln.

Verschiedene Studien (Breakwell und Beardsell 1992, Löwe 1992, Osborne et al. 2003, OECD 2006, Rocard et al. 2007, Osborne und Dillon 2008) belegen, dass das Interesse an den naturwissenschaftlichen Fächern ab dem Eintritt in die Sekundarstufe kontinuierlich abnimmt. Für England liegen Studien (Murphy und Beggs 2001 in Osborne et al. 2003, Pell und Jarvis 2001) vor, die zeigen, dass bereits im Lauf der Volksschule das Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern abnimmt.

Sowohl Kahle und Lakes (1983) als auch Osborne et al. (2003) gehen in ihren Studien jedoch davon aus, dass die SchülerInnen mit durchaus positiven Einstellungen gegenüber den naturwissenschaftlichen Fächern in die Sekundarstufe wechseln, diese positiven Einstellungen jedoch durch ihre Erfahrungen im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe verloren gehen. Diese Daten müssten jedoch genauer analysiert werden, speziell auch in Hinblick auf das generell abnehmende Interesse für alle Fächer im Lauf der Schulkarriere (Osborne et al. 2003). Dennoch scheint es speziell in den naturwissenschaftlichen Fächern einen starken Interessensverlust im Lauf der Schulkarriere zu geben. Hadden und Johnstone (1983) schließen daraus, dass der schulische Unterricht nichts dazu beiträgt, das SchülerInneninteresse für naturwissenschaftliche Inhalte zu steigern. Osborne et al. (2003) gehen noch einen Schritt

weiter, indem sie behaupten, dass in Bezug auf die SchülerInneninteressen, der naturwissenschaftliche Unterricht in den Schulen mehr Nachteile als Vorteile birgt.

#### 5.4.1.1 Genderspezifische Interessensunterschiede

Frauen sind in den naturwissenschaftlichen Studien unterrepräsentiert. Obwohl die Anzahl der Studentinnen an Österreichs Universitäten längst höher ist als die Anzahl der Studenten, liegt die Anzahl weiblicher Studierender in den naturwissenschaftlichen Fächern immer noch unter 40% (OECD 2006). Etliche Studien (Jones et al. 2000, Kahle und Lakes 1983, Osborne et al. 2003) zeigen klare Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen in Bezug auf außerschulische Erfahrungen mit Naturwissenschaften und Interesse an Naturwissenschaften, was sich direkt auf die Studienwahl der jungen Menschen auswirkt.

Wenn man die Antworten der 84 SchülerInnen auf die Frage nach dem Lieblingsfach unter dem Genderaspekt betrachtet, fällt auf, dass sich das Lieblingsfach der Buben fast ausschließlich auf Turnen, Mathematik und Sachunterricht beschränkt, während das Spektrum bei den Mädchen weiter gestreut ist. 49% der befragten Buben nennen Turnen als Lieblingsfach, 28% Mathematik, 21% Sachunterricht und 2% Werken/Zeichnen. Bei den Mädchen nennen 34% Turnen als Lieblingsfach. Mathematik wird von 24%, Werken/Zeichnen von 17%, Deutsch von 12%, Sachunterricht von 7% und Musik von 2% der Schülerinnen als Lieblingsfach genannt (Abbildung 28).

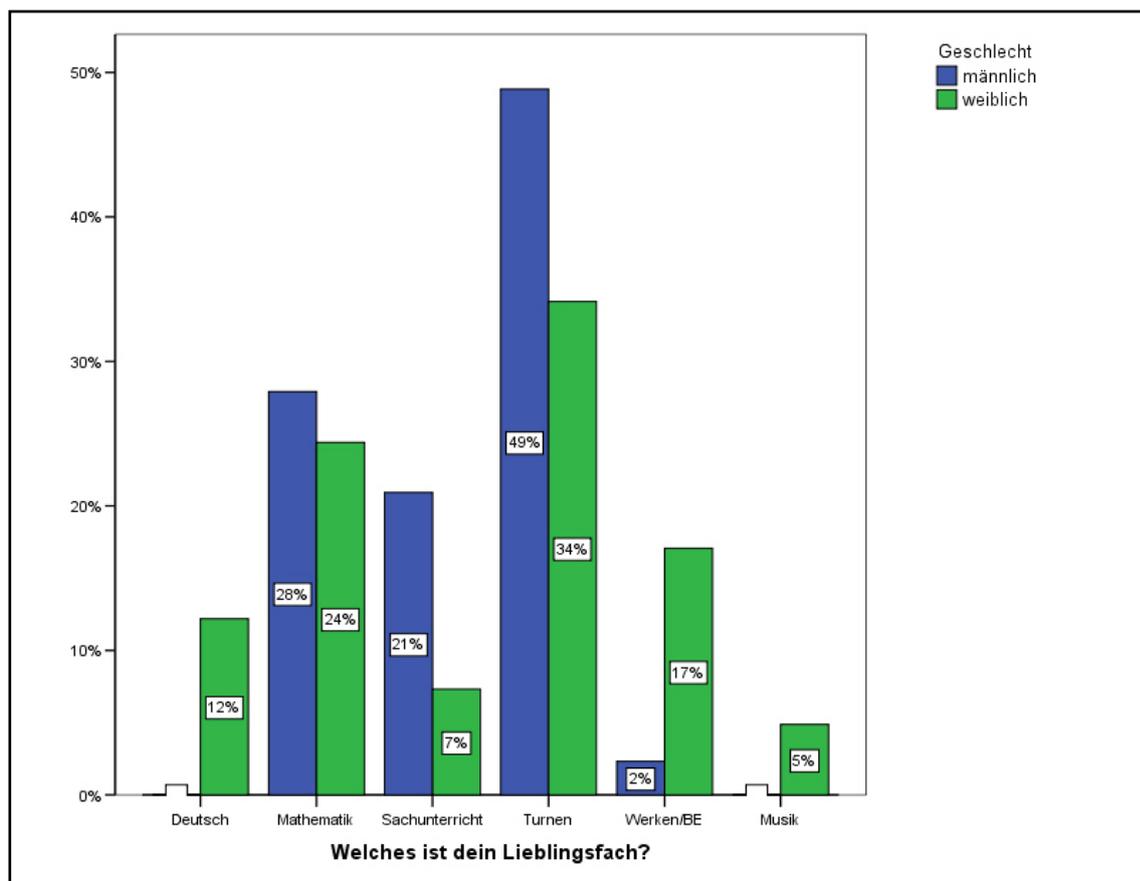


Abbildung 28: Lieblingsfach der SchülerInnen (n=84), nach dem Geschlecht getrennt dargestellt

Turnen wird sowohl bei den Mädchen als auch bei den Buben am häufigsten als Lieblingsfach genannt, wobei weitaus weniger Mädchen als Buben Turnen als Lieblingsfach nennen. Bei beiden Geschlechtern relativ beliebt ist das Fach Mathematik. Beim Fach Sachunterricht lassen sich wieder geschlechtsspezifische Unterschiede erkennen. Während Sachunterricht von 21% der Buben als Lieblingsfach genannt wird,

sind es bei den Mädchen nur 7%. Ebenfalls wesentliche geschlechtsspezifische Unterschiede lassen sich bei den Fächern Deutsch und Werken/Zeichnen erkennen. Deutsch wird von 12% der befragten Mädchen als Lieblingsfach genannt, jedoch von keinem einzigen Buben. Werken/Zeichnen wird von 17% der Mädchen und 2% der Buben als Lieblingsfach genannt.

Zusammengefasst scheint es bei den 84 befragten SchülerInnen genderspezifische Unterschiede in Bezug auf das Lieblingsfach zu geben. Die Buben mögen Turnen, Mathematik und Sachunterricht, die Mädchen ebenfalls Turnen und Mathematik, gefolgt von Werken/BE und Deutsch. Colley, Comber und Hargreaves (1994) haben bei ihrer Arbeit mit 11-13jährigen SchülerInnen in England herausgefunden, dass es signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede gibt, wobei die Buben Turnen und naturwissenschaftliche Fächer bevorzugen und Mädchen Englisch und die geisteswissenschaftlichen Fächer. In Österreichs Volksschulen werden sowohl naturwissenschaftliche als auch geisteswissenschaftliche Inhalte im Fach Sachunterricht unterrichtet, deshalb ist es durch die Frage nach dem Lieblingsfach nicht möglich, etwaige Interessensunterschiede in Bezug auf Naturwissenschaften festzustellen.

Pell und Jarvis (2001) haben gezeigt, dass es bereits im ersten Jahr Volksschule geschlechtsspezifische Unterschiede in Bezug auf Interesse an Lesen und Schreiben gibt (Mädchen lesen und schreiben lieber als Buben) und sich dieser Interessensunterschied im Lauf der Volksschuljahre noch vergrößert. Auch bei den befragten SchülerInnen scheint es diesen Interessensunterschied zu geben. Lesen und Schreiben, obwohl in den meisten Fächern gebraucht, lässt sich am ehesten dem Fach Deutsch zuordnen und dieses wird von 12% der Mädchen, aber keinem einzigen Buben als Lieblingsfach genannt.

Besonders interessant für diese Arbeit ist der Interessensunterschied bezüglich dem Fach Sachunterricht, da naturwissenschaftliche Inhalte besonders in diesem Fach behandelt werden. Während 21% der Schüler Sachunterricht als Lieblingsfach nennen, sind es nur 7% der Schülerinnen. Dies legt den Schluss nahe, dass Sachunterricht in Bezug auf andere Fächer bei den Buben beliebter ist als bei den Mädchen. Analysiert man jedoch die Fragen zum Interesse am Sachunterricht (Tabelle 8), zeigen sich keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede.

Tabelle 8: SchülerInnen (n=84) bewerten ihr Interesse an Sachunterricht (1= stimmt genau, 2= stimmt eher schon, 3= stimmt eher nicht, 4= stimmt nicht); nach dem Geschlecht getrennt dargestellt

	Mädchen			Jungen		
	N	Mittel	Std.Abw.	N	Mittel	Std.Abw.
Ich lerne gerne Sachunterricht	41	1,49	,637	43	1,47	,667
Sachunterricht ist langweilig	41	3,56	,769	43	3,65	,783
Sachunterricht ist ein leichtes Fach	41	2,22	,881	43	2,07	,910

Auch auf die Frage nach den einzelnen Aktivitäten im Sachunterricht zeigen sich keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede (Tabelle 9). Die befragten Mädchen experimentieren genauso gerne wie die befragten Buben, sie schauen der Lehrerin/dem Lehrer genauso gerne beim Experimentieren zu, sie arbeiten genauso wie die Buben lieber

in Gruppen als alleine und sie machen genauso gerne Ausflüge zu außerschulischen Lernorten.

Tabelle 9: Interesse an verschiedenen Aktivitäten im Sachunterricht (1=sehr gern, 2= gern, 3= eher nicht gern, 4= nicht gern); Prätest; nach dem Geschlecht getrennt dargestellt

Wie gerne machst du folgende Dinge im Sachunterricht?	Mädchen			Jungen		
	N	Mittel	Std.Abw	N	Mittel	Std.Abw
1 Mit Arbeitsblättern arbeiten	41	1,83	,738	43	1,70	,773
2 Der Lehrerin beim Experimentieren zuschauen	41	1,24	,699	43	1,14	,351
3 Selber experimentieren	41	1,12	,510	43	1,05	,213
4 Die LehrerIn erklärt uns, wie ein Experiment funktioniert	41	1,44	,709	43	1,21	,773
5 Du findest selber heraus, wie ein Experiment funktioniert	41	1,66	,825	43	1,58	,932
6 Mit meinen MitschülerInnen arbeiten	41	1,27	,449	43	1,35	,650
7 Alleine Arbeiten	41	2,37	,994	43	2,16	,998
8 Ausflüge machen	41	1,12	,458	43	1,05	,213

Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen von Pell und Jarvis (2001) und man kann aus diesen Daten nicht darauf schließen, dass sich bereits in der Volksschule ein genderbedingter Unterschied in Bezug auf Interesse am Fach Sachunterricht im Allgemeinen und am naturwissenschaftlich orientierten Arbeiten im Sachunterricht im Speziellen manifestiert.

#### 5.4.1.2 Einfluss des durchgeführten Projektunterrichts auf das Interesse der SchülerInnen

Bereits weiter oben habe ich erklärt, dass die SchülerInnen im Sachunterricht eine besondere Vorliebe für kooperative *hands-on* Aktivitäten haben, während das selbständige Suchen nach Erklärungen vor dem durchgeführten Projekt signifikant negativer besetzt war als die Erklärungen von der Lehrerin/dem Lehrer geliefert zu bekommen.

Im Vergleich zum Prätest ließen sich nach dem Projektunterricht, bei dem die SchülerInnen die Möglichkeit hatten, selbständig Versuche zu planen und animiert wurden, ihre eigenen Erklärungen für bestimmte Phänomene zu finden und mit Beweisen zu belegen, signifikante Unterschiede in Bezug auf Item 2 (Der Lehrerin beim Experimentieren zuschauen), Item 4 (Die Lehrerin erklärt uns, wie ein Experiment funktioniert) und Item 5 (Du findest selber heraus, wie ein Experiment funktioniert) feststellen (Tabelle 10).

Während das Interesse daran, der Lehrerin/dem Lehrer beim Experimentieren zuzuschauen und das Interesse daran, von der Lehrerin/dem Lehrer Erklärungen für die

jeweiligen Experimente zu bekommen, signifikant abnahm, stieg das Interesse der SchülerInnen am selbständigen Herausfinden, wie ein Experiment funktioniert, im Lauf des Projektes signifikant.

Tabelle 10: Interesse an verschiedenen Aktivitäten im Sachunterricht (1=sehr gern, 2=gern, 3=eher nicht gern, 4=nicht gern) vor (Prätest) und nach dem Projekt (Posttest); n=84

Wie gerne machst du folgende Dinge im Sachunterricht? (Prätest)	N	Prätest		Posttest	
		Mittel	Std.Abw.	Mittel	Std.Abw.
1 Mit Arbeitsblättern arbeiten	84	1,76	,75	1,77	,70
2 Der LehrerIn beim Experimentieren zuschauen	84	1,19	,55	1,48**	,74
3 Selber experimentieren	84	1,08	,39	1,06	,24
4 Die LehrerIn erklärt uns, wie ein Experiment funktioniert	84	1,32*	,64	1,63**	,76
5 Du findest selber heraus, wie ein Experiment funktioniert	84	1,62*	,87	1,24**	,62
6 Mit meinen MitschülerInnen arbeiten	84	1,31	,56	1,37	,69
7 Alleine Arbeiten	84	2,26	,99	2,40	1,13
8 Ausflüge machen	84	1,08	,35	1,00	,000

\* Signifikanter Unterschied zwischen verschiedenen Items innerhalb des Prätests, Wilcoxon test,  $\alpha = .05$

\*\* Signifikanter Unterschied zwischen den gleichen Items Prätest und Posttest, Wilcoxon test,  $\alpha = .05$

Wenn man nun die Mittelwerte der Items 3 (Selber experimentieren) und 5 (Selber rausfinden, wie ein Experiment funktioniert) und der Items 2 (der Lehrerin/dem Lehrer beim Experimentieren zuschauen) und 4 (die Lehrerin/der Lehrer erklärt, wie ein Experiment funktioniert) zusammenzählt, bekommt man einerseits ein Maß für schülerInnenzentriertes Experimentieren und andererseits ein Maß für lehrerInnenzentriertes Experimentieren. Diese Unterscheidung ist wichtig, da auch ein Unterricht mit vielen Experimenten und Demonstrationen sehr lehrerzentriert sein kann, wenn z.B. Versuche rezeptartig nachgekocht werden müssen und den SchülerInnen nicht die notwendige Autonomie beim Planen, Durchführen und Auswerten der Experimente gelassen wird.

Im Unterschied zum Prätest stieg das Interesse an schülerzentriertem Experimentieren im Lauf des Projektes signifikant an, während das Interesse an lehrerzentriertem Experimentieren signifikant abnahm (Tabelle 11).

Tabelle 11: Interesse an lehrerInnenzentriertem und schülerInnenzentriertem Experimentieren (n=84)

Unterskalen	N	Prätest		Posttest	
		Mittel	Std. Abw.	Mittel	Std. Abw.
1 LehrerInnenzentrierte Experimente	84	2,51	,95	3,11**	1,28
2 SchülerInnenzentrierte Experimente	84	2,70	1,00	2,30**	,73

\*\* Signifikanter Unterschied zwischen den gleichen Items Prätest und Posttest, Wilcoxon test,  $\alpha = .05$

Diese Ergebnisse legen nahe, dass sich positive Kontakte mit naturwissenschaftlichem Arbeiten positiv auf das Interesse an naturwissenschaftlichem Arbeiten im Unterricht auswirken, besonders wenn das naturwissenschaftliche Arbeiten den Lernenden die notwendige Autonomie für ein subjektives Kompetenzerlebnis bietet. Die erstellten Unterrichtsmaterialien führen durch die Möglichkeit zum selbständigen Planen, Durchführen und Evaluieren einfacher Experimente in der Gruppe zu einem Kompetenzerleben auf Seiten der SchülerInnen, welches zu einem gesteigerten Interesse an schülerzentriertem Experimentieren und an selbständigem Suchen nach Erklärungen führt.

Ob dieser Interessenszuwachs auch zu einem generell größeren Interesse an den Naturwissenschaften führt, kann auf Basis der erhobenen Daten nicht geklärt werden. Das muss auch nicht Ziel des Unterrichtes sein. Die SchülerInnen entscheiden selbst, was sie für interessant halten und was nicht und meiner Meinung nach spielen für die Interessensausbildung die unterrichtlichen Erfahrungen eine untergeordnete Rolle. Keine Schülerin und kein Schüler ist dazu verpflichtet, sich für das zu interessieren, was die jeweilige Lehrerin oder der jeweilige Lehrer interessant findet. Wir als LehrerInnen müssen jedoch darauf achten, dass wir durch unseren Unterricht nicht die Interessiertheit der SchülerInnen (die soll es ja angeblich auch noch geben und sie ist gerade im Volksschulbereich noch sehr stark erlebbar) durch einen inadäquaten Unterricht zerstören. Wenn wir Kompetenzerleben und selbstbestimmtes Lernen im Unterricht unterstützen und mit unseren Inhalten an den alltäglichen Erfahrungen der SchülerInnen anknüpfen, haben die SchülerInnen zumindest die Chance, ihre Interessiertheit zu befriedigen. Daraus kann dann – abhängig auch von anderen Umständen – auch ein längerfristiges Interesse an den Naturwissenschaften entstehen.

Und auch wenn dieses längerfristige Interesse für die Naturwissenschaften nicht entsteht, fördert ein schülerInnenzentrierter, forschender Unterricht - zumindest in der Volksschule - jene Begeisterung, die die SchülerInnen beim Testen der erstellten Unterrichtsmaterialien zeigten. Die SchülerInnen sprachen von den „coolsten Sachunterrichtsstunden“, die LehrerInnen waren vom „Forschergeist“ und „Enthusiasmus, den die Schülerinnen zeigten“ begeistert, und etliche Eltern bedankten sich telefonisch oder schriftlich „für das tolle Forschungsprojekt und was die Kinder alles machen dürfen und lernen“, weil die SchülerInnen zu Hause voller Begeisterung erzählen, was sie am Vormittag in der Schule erforscht und erlebt haben (Abbildung 29) .

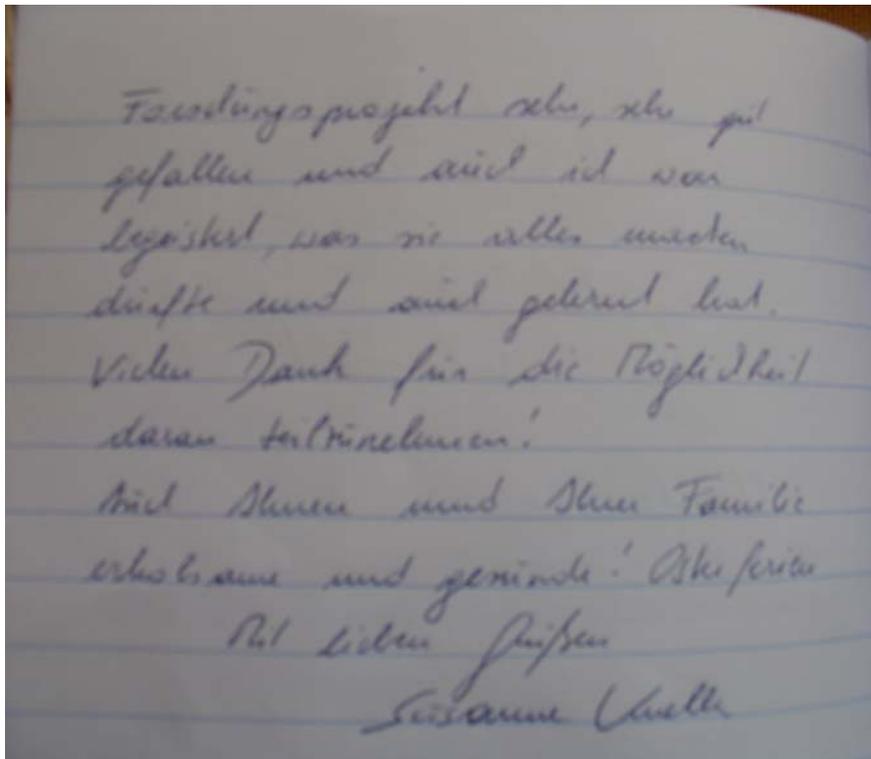


Abbildung 29: Brief einer Mutter an eine der LehrerInnen

Die erhobenen Daten zum Thema Interesse und Einstellungen legen zusammenfassend folgende Schlüsse nahe:

- Die SchülerInnen haben in der vierten Klasse Volksschule noch sehr positive Einstellungen zum naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Dateninterpretation ist jedoch nicht ganz leicht, da naturwissenschaftliche Inhalte in der Volksschule gemeinsam mit geografischen, wirtschaftlichen und geschichtlichen Inhalten in einem Fach (Sachunterricht) unterrichtet werden.
- Bei den SchülerInnen besonders beliebt ist das selbständige Experimentieren in der Gruppe, wobei unter Experimentieren hauptsächlich das aktive tun (*hands-on*) verstanden wird. Das selbständige Suchen nach Erklärungen (*minds-on*) stößt jedoch auf weniger Interesse und die SchülerInnen bevorzugen (zumindest im Prätest) die Erklärungen von Seiten der LehrerInnen.
- Bei den befragten SchülerInnen sind keine signifikanten geschlechtsspezifischen Interessensunterschiede bezüglich dem naturwissenschaftlichen Unterricht festzustellen. Die Mädchen experimentieren im Unterricht genau so gerne wie die Buben. Weiterführende Studien, die auch außerschulischen Erfahrungen mit Naturwissenschaften von Mädchen und Buben in die Erhebung miteinbeziehen, könnten Gründe aufzeigen, warum der Interessensverlust an den Naturwissenschaften ab dem elften Lebensjahr bei den Mädchen signifikant höher ist als bei den Buben.
- Die erstellten Unterrichtsmaterialien fördern das Interesse der SchülerInnen an selbständigem Problemlösen und selbständigem Suchen nach Erklärungen, indem Situationen geschaffen werden, in denen die SchülerInnen ihre eigene Kompetenz in eben diesen – im Unterricht oft vernachlässigten – Bereichen erleben können.

- Ein selbständig forschender Unterricht orientiert sich sehr stark an der Neugierde der SchülerInnen, die besonders in der Volksschule noch sehr stark vorhanden ist. Die Möglichkeit, diese Neugierde zu befriedigen, begeistert die SchülerInnen und auch deren Eltern. Begeisterte SchülerInnen und interessierte Eltern wiederum motivieren die LehrerInnen, wodurch eine win-win Situation entsteht. Deshalb sollte sich der naturwissenschaftliche Unterricht in der Volksschule zu einem forschenden Unterricht entwickeln. Dazu müssen die LehrerInnen in ihrer Aus- und Weiterbildung und durch das zur Verfügung stellen geeigneter Unterrichtsmaterialien qualifiziert werden, ihren Unterricht so zu gestalten, das selbständige Forschen und das Suchen nach Erklärungen auf Seiten der SchülerInnen ermöglicht wird.
  
- Nicht nur in der Volksschule, auch in der Sekundarstufe ist ein am Alltag der SchülerInnen orientierter naturwissenschaftlicher Unterricht, der den SchülerInnen die Möglichkeit zu selbständigem Forschen und selbständigem Suchen nach Erklärungen gibt, möglich. Ein solcher Unterricht kann – muss aber nicht – das Interesse der SchülerInnen an naturwissenschaftlichem Unterricht fördern. Unzählige Faktoren beeinflussen die Interessensbildung junger Menschen, Schule und Unterricht ist nur einer davon. Ziel der LehrerInnen und NaturwissenschaftsdidaktikerInnen muss es jedoch sein, den Faktor Unterricht so zu gestalten, dass eine Interessensbildung möglich ist. Das geschieht wahrscheinlich nicht, wenn die in einem überfüllten Lehrplan ausgewiesenen naturwissenschaftlichen Konzepte fragmentiert (heute ein bisschen Thermodynamik, morgen Fotosynthese und zum Drüberstreuen noch eine Portion Mendel'sche Vererbungslehre) präsentiert werden, keine Anknüpfungspunkte an die eigene Lebensrealität gesucht werden (Was haben z.B. Polymere mit meinen Nike Turnschuhen zu tun) und die größte kognitive Anstrengung im Unterricht das Kopieren des Tafelbildes in das Heft ist. Es braucht meiner Meinung besonders in der Sekundarstufe I ein Umdenken von einem Unterricht, dessen Hauptziel die Wissensvermittlung ist, hin zu einem Unterricht, dessen Hauptziel es ist, die SchülerInnen für naturwissenschaftliches Arbeiten zu motivieren und bei den SchülerInnen ein Verständnis für das Wesen der Naturwissenschaften zu entwickeln. Dabei wäre forschend-begründendes Lernen ein geeigneter Ansatzpunkt.

## 5.4.2 Sachkompetenz

Aus lernpsychologischer wie aus fachdidaktischer Perspektive werden seit den 1970er Jahren weltweit SchülerInnenvorstellungen vor allem im naturwissenschaftlichen Bereich erforscht, da diese Alltagsvorstellungen das Lernen vor einem konstruktivistischen Hintergrund wesentlich beeinflussen. Erst die Berücksichtigung vorhandener SchülerInnenvorstellungen ermöglicht konstruktives und damit auch verstehendes Lernen.

### 5.4.2.1 SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese vor dem Projektunterricht

Wenn man SchülerInnen der Volksschule nach ihren Alltagsvorstellungen zum Thema Fotosynthese fragt, wird man höchstwahrscheinlich auf fragende Gesichter stoßen, da der Begriff Fotosynthese den wenigsten SchülerInnen bekannt ist. Doch die SchülerInnen haben – basierend auf ihren eigenen alltäglichen Erfahrungen – schon ihre eigenen Erklärungen zum Thema Luft und auch zum Thema Pflanzenwachstum. Beide Konzepte sind eng mit dem Prozess der Fotosynthese verbunden und bildeten die Ausgangslage für meine Erhebungen zu den SchülerInnenvorstellungen.

#### 5.4.2.1.1 SchülerInnenvorstellungen zum Thema Luft

Um herauszufinden welche Vorstellungen die SchülerInnen zum Thema Ein- und Ausatemluft haben, verwendete ich eine durchsichtige Nylontasche, in die ich ausatmete und fragte die SchülerInnen, inwieweit sich die Luft in der Tasche von der Luft im Raum oder der Luft im Freien unterscheidet.

Fast alle SchülerInnen wussten, dass es einen Unterschied zwischen Einatemluft und Ausatemluft gibt. Wenn man weiter fragte, was denn genau der Unterschied sei, kamen jedoch in den meisten Fällen keine genauen Erklärungen. Die Ausatemluft sei schmutzig, weniger frisch, verbraucht oder auch sauer.

*I: Und was würde mit mir passieren, wenn ich fünf Minuten in das Sackerl atmen würde?*

*K: Dann fällst du in Ohnmacht, ja.*

*K: Weil dann ist keine Luft mehr drinnen.*

*I: Ja aber es ist ja immer noch Luft drinnen in dem Sackerl.*

*K: Ja aber eine Luft, die nicht gut ist für den Körper.*

*I: Und was heißt das, die ist nicht so gut? Was ist der Unterschied?*

*K: Die ist nicht sauber. Sie ist nicht rein.*

*K: Und sie ist sauer.*

Solche Erklärungen kodierte ich mit dem Code „Luft – alternative Erklärung“. In den zwanzig Interviews vor dem Projektunterricht vergab ich diesen Code elf Mal.

Einige SchülerInnen hatten aber auch schon eine klarere Vorstellung, was der Unterschied zwischen der Einatemluft und der Ausatemluft ist, und warum es nicht gesund ist, ständig die eigene Ausatemluft einzusatmen.

*I: (Nylonsack, bläst rein) Wenn ich immer so atmen würde (atmet im Sack), was wird dann passieren?*

*K: Der Sauerstoff bleibt weg und dann kommt ... wie sagt man das ... Kohlendiotisie oder so.*

*I: Kohlendioxid. Also noch einmal. Der Sauerstoff ...*

*K: Ich tu den Sauerstoff einatmen und dann tu ich das ausatmen die Siosi, ma jetzt weiß ich's wieder nicht. Und dann tust du nur mehr das einatmen, was du vorher ausgeatmet hast.*

Während sich einige SchülerInnen mit den Fachbegriffen noch schwer taten, gab es aber auch einzelne SchülerInnen die bereits ganz klare Vorstellungen zum Thema Luft hatten.

*I: Da sind meine Bakterien drinnen, sagst du. Und deshalb ist die Luft da unterschiedlich?*

*K: Aber auch wegen dem Sauerstoff. Da ist kein Sauerstoff mehr drinnen.*

*K: Kohlendioxid ist da drinnen.*

*I: Ok. Und was passiert, wenn das jetzt immer, wenn ich nur mehr in dieses Ding da atmen würde?*

*K: Wenn du immer nur die gleiche Luft einatmest, dann wirst du ohnmächtig.*

*K: Dann kannst du sterben.*

*I: Dann kann man sterben, ja genau. Und warum?*

*K: Ja, weil wenig Sauerstoff drinnen ist.*

*K: Weil Kohlendioxid ist tödlich.*

*I: Wir brauchen also Sauerstoff und wir atmen Kohlendioxid aus. Und, was ist jetzt, wenn alle Menschen ständig Sauerstoff aufnehmen und Kohlendioxid ausatmen? Dann ist ja irgendwann kein Sauerstoff mehr da.*

*K: Nein, weil es gibt ja Pflanzen, die nehmen das Kohlendioxid auf und machen wieder Sauerstoff. Die machen das rückwärts.*

Einige wenige SchülerInnen hatten also schon eine sehr klare Vorstellung bezüglich der Zusammensetzung der Luft, dem Unterschied Aus- und Einatemungsluft und der Rolle der Pflanzen bei der Sauerstoffproduktion. Generell war vielen SchülerInnen bewusst, dass die Pflanzen (meistens die Bäume) die *Luft besser machen*. Wobei den SchülerInnen nicht ganz klar war, wie das passiert.

*I: Ok, und wie kommt der Sauerstoff in die Luft?*

*K: Durch die Pflanzen.*

*K: Durch die Pflanzen, ja.*

*K: Die haben den Sauerstoff und das geht dann hinaus in die Luft.*

*I: Über die Blätter oder den Stamm? Oder über die Wurzeln?*

*K: Über die Wurzeln.*

I: Was glaubt ihr?

K: Über die Wurzeln.

I: Was glaubst du Marcel?

K: Über die Blätter, wenn man die gießt, dann geht das Ganze raus.

Der Begriff Sauerstoff war ebenfalls schon einigen SchülerInnen geläufig und einige wenige SchülerInnen verwendeten in den Interviews vor dem Projekt auch schon das Wort Kohlendioxid. Von den 20 interviewten Gruppen verwendeten 12 den Begriff Sauerstoff, 5 den Begriff Kohlendioxid. 11 Gruppen erklärten den Unterschied zwischen Aus- und Einatemungsluft mit alternativen, oder besser gesagt alltagssprachlichen Erklärungen (frische Luft, schmutzige Luft, verbrauchte Luft,..) (Tabelle 12: ).

Tabelle 12: Vergebene Codes und ihre Häufigkeit zum Thema Luft; Prätest (n=20)

	N	Luft – Sauerstoff	Luft – Kohlendioxid	Luft – alternative Erklärungen
Interviews vor Projekt	20	12	5	11

Zwei Fragebogenfragen beschäftigten sich ebenfalls mit dem Thema Luft (10.1.1). Bei einer Frage mussten die SchülerInnen vorhersagen (*multiple choice*), was mit einer Kerze passiert, wenn sie mit einer Glasglocke zugedeckt wird und ihre Vorhersage auch begründen. Die Antwort wurde nur als richtig gewertet, wenn sowohl die Vorhersage als auch die Begründung korrekt waren. Beispiele für korrekte Begründungen waren: die Flamme erstickt, die Flamme benötigt Luft, die Flamme benötigt Sauerstoff. Bei der zweiten Frage, ebenfalls *multiple choice*, mussten die Schülerinnen wählen ob a) Bäume Sauerstoff produzieren b) alle grünen Pflanzen Sauerstoff produzieren c) die Sonne Sauerstoff produziert d) Tiere Sauerstoff produzieren oder e) ich weiß es nicht.

Die Frage mit der Kerze wurde im Prätest von 24% der Schülerinnen richtig beantwortet, die Frage nach dem Sauerstoffproduzenten wurde von 32% der SchülerInnen richtig beantwortet (Abbildung 30).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass den meisten SchülerInnen bereits vor dem Projektunterricht bewusst war, dass sich Ein- und Ausatemungsluft unterscheiden, obwohl nur wenige genau sagen konnten, wie sie sich unterscheiden. Der Begriff Sauerstoff war schon einigen bekannt, ebenfalls der Begriff Kohlendioxid. Stickstoff, der mit 78% den größten Anteil an der Luft stellt, wurde von keiner Schülerin/keinem Schüler im Lauf der Interviews vor dem Projektunterricht genannt. Dass Pflanzen Sauerstoff produzieren war auch schon vielen SchülerInnen bewusst, wobei die meisten der Meinung waren, dass nur Bäume Sauerstoff produzieren.

#### 5.4.2.1.2 SchülerInnenvorstellungen zum Thema Pflanzenwachstum

Die Vorstellungen zum Thema Pflanzenwachstum habe ich erhoben, indem ich den SchülerInnen ein Bild von einem Baum mit 100 kg zeigte. Auf einem weiteren Bild war derselbe Baum 5 Jahre später, entsprechend größer und mit 200 kg abgebildet. Auf Basis dieses Inputs diskutierte ich mit den SchülerInnen, wie dieser Baum in den fünf Jahren 100 kg „zunehmen“ konnte.

Die befragten SchülerInnen wussten auf Basis ihrer täglichen Erfahrungen, dass eine Pflanze auf jeden Fall Wasser und Sonnenlicht zum Wachsen braucht. In allen 20 Gruppeninterviews wurde in den Interviews vor dem Projektunterricht Wasser, in 18 Interviews Sonne oder Sonnenlicht als Voraussetzung für Pflanzenwachstum genannt. 14 Mal wurde „Erde“ genannt, wobei die SchülerInnen – bis auf eine Ausnahme – nicht bewusst war, dass die Pflanzen nur einzelne Mineralien aus der Erde aufnehmen. Bei 6 Interviews sagten die SchülerInnen, dass die Pflanzen Luft zum Wachsen benötigen, 5 Mal wurde Sauerstoff genannt und 3 Mal Kohlendioxid. Ein Schüler erwähnte, dass Pflanzen Zucker zum Wachsen benötigen und dass Pflanzenwachstum mit Fotosynthese zusammenhängt (Tabelle 13).

Tabelle 13: Vergebene Codes und ihre Häufigkeit zum Thema Pflanzenwachstum; Prätest (n=20)

	Blätter	Bodenminerale	Erde	Freundlichkeit	CO <sub>2</sub>	Luft	Samen	O <sub>2</sub>	Schatten	Sonne	Wasser	Wärme	Wurzel	Zucker
Prätest	2	1	14	1	3	6	3	5	2	18	20	2	3	1

Die meisten SchülerInnen wussten also, dass Pflanzen Sonnenlicht, Wasser und „Erde“ zum Wachsen brauchen. Wenn man nachfragte, wie denn aus Wasser, Sonnenlicht und Erde 100 kg Holz entstehen, war jedoch fast niemandem klar wie aus flüssigem Wasser, durchsichtigen Lichtstrahlen und „Erde“ festes Holz entstehen kann. Der folgende Ausschnitt aus einem Interview, zeigt deutlich, dass es den SchülerInnen zwar einerseits ganz klar ist, was eine Pflanze zum Wachsen braucht, dass sie jedoch keine genauen Erklärungen dafür haben, wie aus einem 100 kg schweren Baum innerhalb von 5 Jahren ein 200 kg schwerer Baum entstehen kann.

*I: Ok, gut. Und dann hat der Baum 100 Kilo zugenommen. Und ihr sagt's, glaubt's ihr diese 100 Kilo sind hauptsächlich Wasser?*

*K: Mmh, ja.*

*K: Ja.*

*K: Oder die Erde.*

*K: Nicht alles Wasser.*

*K: Oder die Erde.*

*K: Nicht alles ist Wasser.*

*I: Erde und Wasser?*

*K: Erde und Wasser.*

*K: Und manches ist Holz.*

*I: Eben, aber dieses Holz, wie wird denn, denn ihr sagt, es ist das meiste Wasser ... (wird unterbrochen)*

*K: Aus Samen.*

*K: Aus Samen.*

*I: Ist das hart, so ein Holz?*

*K: Ja.*

*I: Und wie wird aus Wasser, Wasser ist ja flüssig, oder?*

*K: Ja, aus dem Samen.*

*I: Aus dem Samen, ja.*

*K: Nein, vom Regen.*

*I: Vom Regen, ok. Aber wie wird denn das so hart, dieses Holz?*

*K: Vom Regen.*

*K: Von der Sonne.*

*K: Von der Sonne.*

*K: Da ist ein Samen und dann ist die Sonne.*

*I: (...) Also hart wird's von der Sonne? Und das Wasser braucht's auch?*

*K: Ja.*

*I: Ok und wie wird's dann hart? Ich versteh das nicht, die Sonne. Das Holz ist ja ziemlich schwer und die Sonne an und für sich, die kann man nicht abwiegen, oder?*

*K: Ja aber wegen dem Samen.*

*I: Ah das kommt vom Samen.*

*K: Ja.*

*K: Ja weil die Sonne geht auf den Samen.*

*K: Du musst die Pflanze in die Sonne stellen und dann also ist es hart, da wächst der Samen also.*

*K: Ja er wird hart, wächst und wächst und dann wird der Stamm.*

*I: Ok, also die meiste Nahrung kommt aus dem Samen raus?*

*K: Ja.*

*K: Ja.*

*I: Ok, Wasser braucht's und die Nahrung kommt aus dem Samen und ...*

*K: Und Sonne braucht's.*

So ähnlich wie dieses Interview, verliefen die meisten Interviews. Die SchülerInnen nannten immer wieder die Faktoren Wasser, Sonnenlicht und Erde, in dem eben zitierten Interview auch noch den Samen. Auf die Frage, wie denn aus Wasser, Erde und Sonnenlicht, Holz entstehen kann, hatten sie jedoch in den meisten Fällen keine Antworten und nannten wieder die Faktoren Sonnenlicht und Wasser. So verliefen die Gespräche oft im Kreis.

Die wenigsten SchülerInnen hatten sich wahrscheinlich bisher mit der Frage beschäftigt, wie denn aus Wasser, Licht und Erde Strukturen wie Holz entstehen können. Mit dieser Frage konfrontiert, überlegten sich einzelne Gruppen im Lauf des Gespräches ihre Erklärungen, wie denn das passieren könnte.

Eine Gruppe war sich einig, dass Wasser hauptsächlich für das Pflanzenwachstum zuständig ist. Dadurch dass immer mehr Wasser aufgenommen wird, wird das Ganze dann irgendwie härter und es entsteht Holz.

*I: Wasser, Sonne und Erde. Ok. Und daraus entsteht Holz? Das Holz ist ja aber ganz hart und das Wasser ist flüssig.*

*K: Nein, das wird schwerer, weil's immer mehr wird. Also die Blume wird, die Pflanze wird immer schwerer, weil sie immer größer und größer wird.*

*K: Und die kriegt immer Wasser und Sonne.*

*I: Und wie wird sie denn größer? Das ist die Frage.*

*K: Da kommt Wasser eini und dann wird sie langsam größer.*

*I: Und dann besteht so ein Baum hauptsächlich aus Wasser.*

*K: Nein.*

*K: Aus Holz.*

*I: Aus Holz, aber wie wird denn, also Wasser geht rein und Sonne geht rein, wie wird denn aus dem Holz?*

*K: Wenn's immer nass wird, wird's immer härter.*

*I: Das Wasser wird immer dichter dann, oder wie?*

*K: Ja.*

Für eine andere Gruppe wiederum war die UV-Strahlung sehr wichtig, welche dazu beiträgt, dass die Pflanzen, die ja sehr viel Wasser aufnehmen, austrocknen und auf diese Weise härter werden.

*I: Und wie wird dann das Holz so hart, wenn da das meiste Wasser ist?*

*K: Ja weil es Ringe bildet, weil's außen rum durch die Sonnenbestrahlung, durch die UV-Strahlen, bildet es eine härtere Schicht außen rum.*

*K: Es trocknet eher aus und das schützt's dann.*

*K: Ja.*

*I: Ok, und innen drinnen, ist es innen drinnen weicher oder ist ..?*

*K: Nein, auch hart.*

*K: Gleich hart.*

*I: Gleich hart.*

*K: Außer ein frischer Baum, der ist innen noch grün.*

*K: Ja.*

*I: Aber du hast gesagt, durch die Sonnenstrahlung wird's härter außen.*

*K: Ah, das habe ich gesagt.*

*I: Das hast du gesagt, genau. Und du hast gesagt, es trocknet aus, ok. Also es ist Wasser, die Sonne trocknet das Wasser und dann wird's hart. Ja?*

*K: Ja.*

*K: Ja.*

*K: Aber zuerst braucht es noch einen Samen.*

Zusammenfassend lässt sich aus den analysierten Interviews sagen, dass die SchülerInnen eine klare Vorstellung davon haben, was eine Pflanze zum Wachsen benötigt. Diese Vorstellungen basieren auf ihren eigenen Erfahrungen und funktionieren auf einer makro-phänomenologischen Ebene (Ergazaki et al. 2005). Die SchülerInnen wissen, dass eine Pflanze Wasser braucht, weil sie möglicherweise ihren Eltern im Haus oder Garten helfen, Pflanzen zu gießen. Sie wissen, dass eine Pflanze Sonnenlicht und Erde braucht. Die Bedeutung der Erde wird zwar von vielen SchülerInnen überschätzt, jedoch wird das in der biologiedidaktischen Literatur oft beschriebene Alternativkonzept, dass sich Pflanzen hauptsächlich von Erde ernähren (Wandersee 1983, Wood-Robinson 1991, Leach et al. 1996, Marmaroti et al. 2006) anhand meiner Daten nicht bestätigt. Die jungen Lernenden wissen genau, dass eine Pflanze auch Sonnenlicht und Wasser zum Wachsen braucht.

Diese Erklärungen sind für die jungen Lernenden ausreichend, sie bewähren sich im Alltag und geben den SchülerInnen die notwendige Kompetenz, um eventuell auch selber Pflanzen zu ziehen. Genauere Erklärungen scheinen für den Alltag nicht notwendig zu sein und die Frage, wie aus Wasser und Sonnenlicht und Erde pflanzliche Strukturen entstehen können, beschäftigt die SchülerInnen nicht.

Im Gegensatz zu den makro-phänomenologischen Erklärungen der SchülerInnen bietet das Konzept der Fotosynthese eine mikro-konzeptuelle Erklärung für das Pflanzenwachstum. Die Fotosynthese erklärt, wie aus Licht, Wasser und Kohlendioxid organische Stoffe entstehen, die dann gemeinsam mit den Bodenmineralien zur Synthese von Holz, Blättern oder Früchten verwendet werden.

Ergazaki et al. (2005) gehen davon aus, dass Fotosynthese dann verständnisvoll unterrichtet werden kann, wenn den Lernenden der Link zwischen der makro-phänomenologischen Ebene und der mikro-konzeptuellen Ebene bewusst wird.

Ausgehend von dieser Annahme vermitteln die erstellten Unterrichtsmaterialien das Thema Fotosynthese im Kontext Pflanzenwachstum. An den makro-phänomenologischen Erklärungen der SchülerInnen wird angeknüpft und das Thema Fotosynthese gemeinsam erarbeitet.

Die Interviews zeigen auch, dass den SchülerInnen die Rolle von CO<sub>2</sub> für das Pflanzenwachstum nicht bewusst ist und Luft oft als Ganzes wahrgenommen wird, obwohl sie sehr wohl zwischen guter und verbrauchter Luft unterscheiden und sie bereits wissen, dass Pflanzen „die Luft besser machen“, was auch folgender Interviewausschnitt zeigt:

*I: Braucht der Baum auch Nahrung zum Wachsen? Was isst denn so ein Baum, isst der auch andere Lebewesen?*

*K: Nein, das nicht.*

*K: Aber er holt auch Sauerstoff. Das habe ich einmal gesehen, ich habe ein Computerspiel von Löwenzahn, so einen Atlas und da gibt's auch so Dinge über Bäume und solche, wo man sich kurz einen Film anschauen kann und da ist es, dass die Blätter irgendwas aufnehmen, so die dreckige Luft und die speichern sie in sich oder so und die saubere geben sie wieder ab.*

Aufbauend auf den SchülerInnenvorstellungen erarbeiteten die SchülerInnen beim Unterricht mit den erstellten Materialien in den ersten fünf Modulen die Zusammensetzung der Luft, den Unterschied zwischen Aus- und Einatemluft und die Rolle der Pflanzen als Sauerstoffproduzenten und Kohlendioxidbinder.

Basierend auf dem Verständnis, dass „Luft“ nicht etwas Homogenes ist, sondern aus verschiedenen Teilen besteht, wurde in fünf weiteren Modulen Fotosynthese als „Nahrungsproduktion“ der Pflanzen erarbeitet. Aus Kohlendioxid, Wasser und Licht stellt die Pflanze ihre eigene Nahrung her.

Damit die SchülerInnen das Konzept der Fotosynthese in ihre alltäglichen Beobachtungen zum Thema Pflanzenwachstum einfügen können ist es wichtig, nicht mit den Endprodukten der Fotosynthesegleichung (Zucker und Sauerstoff) zu enden. Ich bin der Überzeugung, dass Fotosynthese und Pflanzenwachstum nicht als zwei getrennte Prozesse unterrichtet werden dürfen, da sonst verstehendes Lernen gehemmt wird. Es muss auch der Zusammenhang zwischen Zucker, Stärke, Bodenmineralen und Pflanzenwachstum erarbeitet werden, da sonst die mikro-konzeptuellen Erklärungen nicht in die eigenen makro-phänomenologischen Vorstellungen eingebaut werden können.

Durch die Vermittlung des Themas Fotosynthese im Kontext Pflanzenwachstum ist es möglich, das neu zu erlernende in die eigenen Wissenshintergründe der SchülerInnen zu integrieren. Konstruktives Lernen findet statt.

Auf der Sachebene ist es das Ziel der erstellten Unterrichtsmaterialien, den SchülerInnen zu vermitteln, dass die Pflanzen ihre eigene Nahrung herstellen und wie dieser Prozess im Groben funktioniert. Ziel ist es, die makro-phänomenologische Beobachtungen der SchülerInnen zum Thema Pflanzenwachstum mit mikro-konzeptuellen Erklärungen zum Thema Fotosynthese zu untermauern. Ziel ist es, den SchülerInnen zu vermitteln, was einer Schülerin bereits vor dem Projektunterricht bewusst war:

*I: Das ist hart. Wie wird denn aus diesem flüssigen Wasser hartes Holz?*

*K: Mmh.*

*K: Das ist so wie wenn ... Also ich würde jetzt einfach mal so sagen, also wenn wir irgendwo was essen oder trinken oder so was, werden wir auch stärker und so wird die Pflanze halt größer und breiter und so.*

*K: Die isst ja auch. Die macht aus der Luft und dem Zeugs ja Fotosynthese, macht sie so einen Schleim und das ist halt ihre Nahrung.*

*I: Ah, ok. Also sie macht einen Schleim und das isst sie. Also die isst nicht nur Wasser, sondern sie macht aus dem Wasser was anderes.*

*K: Ja und Erde, da nimmt sie eigentlich nur die Mineralstoffe heraus.*

Indem Fotosynthese als „Nahrungsherstellung“ für das Pflanzenwachstum erarbeitet wird, kann darauf aufbauend die ökologische Bedeutung der Fotosynthese und der Pflanzen als Startpunkt fast aller Nahrungsketten vermittelt werden. Somit wird die Bedeutung dieses Prozesses von rein „pflanzenbezogen“ auf „für das eigene Leben relevant“ erweitert.

Zusätzlich zu den Interviews verwendete ich auch noch 5 Fragebogenfragen, um die SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese, Luft und Pflanzenwachstum zu erheben. Abbildung 30 zeigt die Anzahl der SchülerInnen, die die jeweiligen Fragen richtig beantwortet haben. Die zwei Fragen zum Thema Luft wurden bereits weiter oben besprochen. Bei einer Frage sollten die SchülerInnen mindestens drei Faktoren nennen, die das Pflanzenwachstum beeinflussen. 45% der SchülerInnen konnten diese Frage vor dem Projektunterricht richtig beantworten, wobei auch hier die Faktoren Wasser, Sonnenlicht und Erde am häufigsten genannt wurden. Die Fragebogendaten decken sich mit den Daten aus den Interviews. Die *multiple choice* Frage nach dem Grund dafür, warum Blätter grün sind, wurde im Prätest von 54% der SchülerInnen richtig beantwortet. Daraus würde ich jedoch nicht unbedingt schließen, dass so vielen SchülerInnen die Rolle des Blattgrüns bewusst war. Es waren die Antwortmöglichkeiten im Nachhinein betrachtet jedoch so formuliert, dass die richtige Antwort auch die wahrscheinlichste war. Auch bei den Interviews wurde die Rolle des Blattgrüns für das Pflanzenwachstum nie angesprochen. Bei einer offenen Frage sollten die SchülerInnen zwei Gründe aufschreiben, warum die Menschen in einer Welt ohne Pflanzen nicht leben können. Diese Frage wurde im Prätest von 27% der SchülerInnen richtig beantwortet. Während den meisten SchülerInnen bewusst war, dass die Pflanzen für die Sauerstoffproduktion zuständig sind oder zumindest „unsere Luft besser machen“, war ein zweiter Grund – z.B. dass sie die Nahrungsgrundlage aller Lebewesen sind – nur relativ wenigen SchülerInnen bewusst.

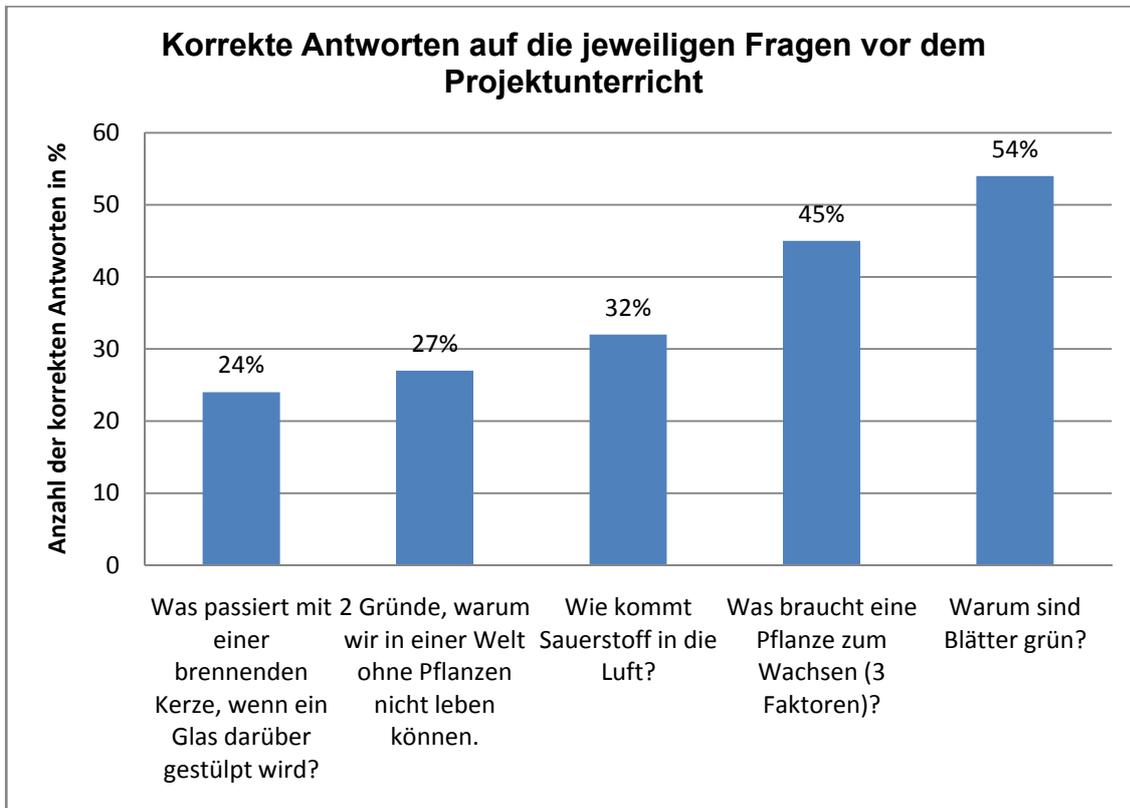


Abbildung 30: Anzahl der SchülerInnen, die die aufgelisteten Fragen richtig beantworteten in Prozent; Prätest (n=84)

#### 5.4.2.2 SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese nach dem Projektunterricht

Alltägliche Erfahrungen spielen bei der Entwicklung naturwissenschaftlichen Verständnisses eine bedeutende Rolle. Die Entwicklung naturwissenschaftlichen Verständnisses ist also nicht eine „Neu-Entwicklung“, sondern viel mehr eine „Weiter-Entwicklung“ von Alltagserfahrungen und Alltagserklärungen.

Keogh et al. (2002) charakterisieren die Weiterentwicklung naturwissenschaftlichen Verständnisses zu einem bestimmten Sachverhalt durch folgende Kriterien:

- Erklärungen durch eigene Konzepte → Erklärungen durch wissenschaftlich anerkannte Konzepte
- Beschreiben von einem Sachverhalt → Erklären von einem Sachverhalt
- Alltagssprache → Richtige Verwendung von wissenschaftlichen Vokabular

##### 5.4.2.2.1 SchülerInnenvorstellungen zum Thema Luft

Um die SchülerInnenvorstellungen nach dem Projekt zu erheben, verwendete ich genau dieselbe Vorgehensweise wie vor dem Projekt. Um die Vorstellungen zum Thema Luft zu erheben, blies ich wieder in eine durchsichtige Nylontasche und fragte die SchülerInnen nach dem Unterschied zwischen der Luft in und außerhalb der Tasche.

Alle befragten Gruppen hatten eine klare Vorstellung zu den Unterschieden zwischen Ein- und Ausatemluft. Die SchülerInnen verwendeten zum Artikulieren der Unterschiede Fachbegriffe wie Sauerstoff, Kohlendioxid und Stickstoff. Sowohl der Code „Luft – Sauerstoff“ als auch der Code „Luft – Kohlendioxid“ wurde 20 Mal vergeben, „Luft – Stickstoff“ wurde 19 Mal vergeben und „Luft – Zusammensetzung“ 18 Mal (Tabelle 14). Den Code „Luft – Zusammensetzung“ habe ich für Textabschnitte verwendet, in denen die

SchülerInnen erklärten, aus welchen Teilen sich die Luft zusammensetzt und auch genaue Angaben über die prozentuelle Zusammensetzung der Luft machen konnten.

Tabelle 14: Häufigkeit der verwendeten Codes zum Thema Luft; Prätest und Posttest (n=20)

	N	Luft – Sauerstoff	Luft – Kohlendioxid	Luft - Stickstoff	Luft – alternative Erklärungen	Luft – Zusammensetzung
Interviews vor Projekt	20	12	5	0	11	0
Interviews nach Projekt	20	20	20	19	0	18

Während viele SchülerInnen vor dem Projekt zwar schon wussten, dass sich die Einatemungsluft von der Ausatemungsluft unterscheidet, hatten sie für diesen Unterschied ihre eigenen Bezeichnungen wie „schlechte Luft“ oder „schmutzige Luft“. Im Lauf des Projektes änderten sich diese alternativen Bezeichnungen in wissenschaftlich anerkannte Erklärungen und die meisten SchülerInnen verwendeten Fachbegriffe, um den Unterschied zwischen Aus- und Einatemungsluft zu erläutern.

*I: Was für eine Art von Luft ist in dem Sackerl?*

*K: Ausatemungsluft.*

*I: Und die Luft, was da drinnen ist, aus was besteht die?*

*K: Kohlendioxid.*

*I: Und was noch?*

*K: Stickstoff und Sauerstoff.*

*I: Und wisst ihr noch wie viele Teile ungefähr?*

*K: Ja.*

*K: Ja. Sechzehn Teile Sauerstoff, 78 Teile Stickstoff und 6 Teile Kohlendioxid.*

*I: Und in der Luft, die um uns herum ist?*

*K: Also 78 Teile Sauerstoff (wird unterbrochen)*

*K: Stickstoff.*

*K: Ah, Stickstoff, dann 21 Teile Sauerstoff und 1 Teil Kohlendioxid.*

Auch die vor dem Projektunterricht verbreitete Meinung, dass nur Bäume Sauerstoff produzieren, hat sich im Lauf des Projektes bei fast allen SchülerInnen geändert.

*I: Ok, und warum, wer macht die Luft frischer?*

*K: Die Pflanzen.*

*K: Die Pflanzen. Die nehmen Kohlendioxid auf und Sauerstoff geben sie wieder her.*

*K: (gleichzeitig) Kohlendioxid und Sauerstoff gibt sie bei den Spaltöffnungen wieder außer.*

*I: Aha, super! Puuh! Das hört sich schon ganz anders an wie ...*

*K: Letztes Mal.*

*K: Ja, das war blöd.*

Der letzte Satz in diesem Interview zeigt auch, dass den SchülerInnen durch die Gespräche vor und nach dem Projektunterricht ihr eigener Lernfortschritt sehr bewusst wurde. Während in den Schulen eine Evaluation meist am Ende eines Themas in Form einer Kapitelwiederholung oder eines Tests durchgeführt wird, halte ich es für sehr sinnvoll verstärkt formative Evaluationen durchzuführen. Bei einer formativen, prozessbegleitenden Evaluation wird bereits vor dem Unterricht zu einem bestimmten Thema erhoben, welche Vorstellungen die SchülerInnen haben. Dies kann in Form verschiedener Methoden wie z.B. einem *concept mapping* oder auch einem LehrerIn-SchülerIn-Gespräch passieren. Aufbauend auf diesen Gesprächen wird die unterrichtliche Intervention geplant und nach dieser Intervention wird kontrolliert, ob sich die Konzepte der SchülerInnen geändert haben oder nicht.

Die Fragebogenfrage, was mit einer Kerze passiert, wenn sie zugedeckt wird und auch eine Erklärung, warum das passiert, wurde vor dem Projektunterricht von 24% der SchülerInnen richtig beantwortet, unmittelbar nach dem Projektunterricht von 92% der SchülerInnen und 5 Monate nach dem Projekt von 88% der SchülerInnen. Die Frage, wie Sauerstoff in die Luft kommt, wurde vor dem Projektunterricht von 32% richtig beantwortet, nach dem Projektunterricht von 88% und 5 Monate nach dem Projektunterricht ebenfalls von 88% der SchülerInnen (Abbildung 37).

Die vorunterrichtlichen Konzepte der SchülerInnen zum Thema Luft („gute Luft“ und „schlechte Luft“) konnten im Rahmen des Projektunterrichtes zu wissenschaftlich anerkannten Konzepten („Ausatemungsluft enthält 5% mehr Kohlendioxid und 5% weniger Sauerstoff als Einatemungsluft“) umstrukturiert werden. Den SchülerInnen war nach dem Projektunterricht nicht nur klar, dass sich Ausatemungs- und Einatemungsluft unterscheiden, sondern sie konnten den Unterschied auch klar benennen. Anstelle des Beschreibens eines Sachverhaltes („frische Luft ist halt frischer“) tritt eine Erklärung für den Sachverhalt (Einatemungsluft ist „frischer“, weil sie mehr Sauerstoff und weniger Kohlendioxid enthält). Die Formulierungen der SchülerInnen änderten sich im Lauf des Projektes ebenfalls. Während vor dem Projektunterricht sehr viele Erklärungen zum Thema Luft in der Alltagssprache der Kinder formuliert wurden („dreckige Luft“, „Bäume machen Luft frisch“) wurden nach dem Projektunterricht wissenschaftliches Vokabular richtig verwendet („Pflanzen nehmen Kohlendioxid über die Spaltöffnungen auf und geben Sauerstoff ab“).

#### 5.4.2.2.2 SchülerInnenvorstellungen zum Thema Pflanzenwachstum

Auch nach dem Projekt habe ich die Vorstellungen zum Thema Pflanzenwachstum erhoben, indem ich den SchülerInnen ein Bild von einem Baum mit 100 kg zeigte. Auf einem weiteren Bild war derselbe Baum 5 Jahre später, entsprechend größer und mit 200 kg abgebildet. Auf Basis dieses Inputs diskutierte ich mit den SchülerInnen, wie dieser Baum in den fünf Jahren 100 kg „zunehmen“ konnte.

Die Interviewdaten nach dem Projekt zeigen, dass den SchülerInnen bewusst ist, dass die Fotosynthese für das Pflanzenwachstum verantwortlich ist und die Ausgangs- und Endprodukte der Fotosynthese sind den SchülerInnen bekannt. Die SchülerInnen wissen,

dass die Erde über die Bodenminerale nur einen geringen Teil zum Pflanzenwachstum beisteuert.

*I: (Baum, 100 Kilo, fünf Jahre später, 200 Kilo) Wie ist aus diesem Baum so ein großer geworden?*

*K: Er hat Bodenminerale aus der Erde und Wasser geholt und durch die Blätter hat er Fotosynthese gemacht und dafür hat er Sonne, Kohlendioxid, Blattgrün und Wasser gebraucht.*

*I: Genau. Und was macht er aus diesen vieren?*

*K: Fotosynthese.*

*I: Und was ist das Endprodukt?*

*K: Sauerstoff.*

*I: Und was noch?*

*K: Stärke und die verwendet er damit er haltet, damit er wächst.*

*I: Sind das viele Bodenminerale, er hat 100 Kilo zugenommen. Wie viel kg davon kommt aus dem Boden und wie viel kommt von der Fotosynthese?*

*K: Aus dem Boden kommt ein Kilo oder so.*

*K: Ich habe keine Ahnung.*

*I: Eher viel oder eher wenig?*

*K: Ein Prozent aus der Erde.*

*K: Ja, sehr wenig.*

*K: Und der Rest aus Fotosynthese.*

So ähnlich wie dieses Interview verliefen viele Interviews. Anhand der Kodierung der Interviewtranskripte aus dem Posttest kann man erkennen, dass den SchülerInnen die wichtigsten Begriffe zum Thema Pflanzenwachstum und Fotosynthese bekannt sind und auch verstanden wurden. Alle interviewten Gruppen nannten nach dem Projektunterricht Sonne, Wasser und Kohlendioxid als Ausgangsprodukte für die Fotosynthese (20 Nennungen). Auch die Rolle des Blattgrüns ist den meisten SchülerInnen bewusst (19 Nennungen). Die Rolle des Kohlendioxids und des Blattgrüns war den Schülerinnen vor dem Projektunterricht nicht bekannt (Tabelle 15).

Tabelle 15: Vergebene Codes zum Thema Pflanzenwachstum und ihre Häufigkeit; Prätest und Posttest (n=20)

	Blätter	Bodenminerale	Erde	Freundlichkeit	CO <sub>2</sub>	Luft	Samen	O <sub>2</sub>	Schatten	Sonne	Wasser	Wärme	Wurzel	Traubenzucker	Blattgrün	Stärke
Prä	2	1	14	1	3	6	3	5	2	18	20	2	3	1	0	0
Post	1	18	3	0	20	0	0	0	0	20	20	0	0	17	19	20

Auch die Endprodukte der Fotosynthese in Form von Traubenzucker oder Stärke wurde in den Interviews vor dem Projektunterricht nicht erwähnt. In den Interviews nach dem Projektunterricht wurde Traubenzucker von 17 Gruppen erwähnt, Stärke von allen Gruppen. Auch in Bezug auf die Nährsalze, welche die Pflanze über die Wurzeln aufnimmt, änderte sich das Konzept der SchülerInnen wesentlich. In den Interviews vor dem Projekt redeten die SchülerInnen größtenteils von „Erde“, während sie nach dem Projekt von Bodenmineralien sprachen (Tabelle 15).

Ausgehend von den Vorstellungen der SchülerInnen wurde Fotosynthese im Projektunterricht als Nahrungsproduktion für die Pflanze vermittelt und so wurde es auch von den meisten SchülerInnen verstanden. Auch die Rolle der Bodenmineralien für das Pflanzenwachstum und die Funktion des Blattgrüns wurde von den meisten SchülerInnen verstanden.

*I: Ok, die zweite Frage (Baum 100 Kilo, fünf Jahre später, 200 Kilo) Wie ist dieser Baum gewachsen, was ist die Nahrung von diesem Baum?*

*K: Blattgrün, Sonnenlicht, Kohlendioxid und Wasser.*

*K: Und aus Traubenzucker wird Stärke. Aus Stärke und Bodenminerale wird Holz.*

*I: Super. Also ist es ganz einfach. Aus diesen vier Sachen macht er Stärke und aus der Stärke und den Bodenmineralen macht er alles was er braucht.*

*K: Und mit dem Blattgrün macht er neuen Sauerstoff.*

*K: Nein, durch die Spaltöffnungen.*

*K: Durch die Spaltöffnungen kommt der Sauerstoff, den er produziert, raus.*

*K: Da kommt Kohlendioxid rein und das Kohlendioxid wird verarbeitet.*

*K: Also wandelt es in Sauerstoff um.*

*I: Ok, und jetzt ist die Frage, warum macht die Pflanze Sauerstoff. Nur um uns einen Gefallen zu tun?*

*K: Nein, sie brauchen das Kohlendioxid selber zum Wachsen. Für den Traubenzucker und für die Stärke.*

*K: Und das wird dann zu Sauerstoff.*

Die SchülerInnen kannten nach dem Projekt also sowohl die Ausgangs- und Endprodukte der Fotosynthese und sie wussten, dass die Pflanze Zucker oder Stärke und Bodenmineralien für das Pflanzenwachstum benötigt.

Wie aus Zucker oder Stärke und Bodenmineralien pflanzliche Strukturen wie Holz oder Blätter werden, wurde im Laufe des Projektunterrichtes jedoch nicht geklärt. Manche SchülerInnen waren deshalb nach dem Projektunterricht der Meinung, dass alle pflanzlichen Strukturen aus Stärke bestehen, was nicht richtig ist. Einige SchülerInnen waren nach dem Projektunterricht auch der Meinung, dass Kohlendioxid direkt in Sauerstoff umgewandelt wird, was ebenfalls nicht richtig ist. Auch der energetische Aspekt der Fotosynthese, dass die Pflanzen Sonnenenergie in für uns nutzbare chemische Energie in Form von Zucker umwandeln, wird den SchülerInnen durch die Verwendung der Unterrichtsmaterialien nicht bewusst.

Die Fotosynthese ist ein sehr komplexer Vorgang und um diesen Prozess genauer zu verstehen, ist ein bestimmtes chemisches und physikalisches Verständnis notwendig. Aufbauend auf den chemischen Grundlagen kann dann erarbeitet werden, wie die Kohlenstoffatome aus gasförmigen Kohlenstoffverbindungen wie Kohlendioxid in feste Kohlenstoffverbindungen wie Zucker transformiert werden können. Aufbauend auf den physikalischen Grundlagen zum Thema Energietransformation können dann die energetischen Konzepte, die für ein tieferes Verständnis des Themas Fotosynthese notwendig sind, erarbeitet werden.

Die erstellten Unterrichtsmaterialien konzentrieren sich aber weder auf die biochemischen noch auf die energetischen Facetten der Fotosynthese, da diese in der Volksschule nicht sinnbringend vermittelt werden können. Fotosynthese wird – wie weiter oben bereits beschrieben – als Nahrungsproduktion für die Pflanze beschrieben, bei der als Nebenprodukt auch noch Sauerstoff entsteht. Aufbauend auf dem Konzept, dass es den Pflanzen möglich ist, aus Wasser, Kohlendioxid und Sonnenlicht ihre „eigene Nahrung“ herzustellen, wurde den SchülerInnen auch die Bedeutung der Fotosynthese als Startpunkt aller Nahrungsketten vermittelt. Somit wurde den SchülerInnen auch die ökosystemare Bedeutung der Pflanzen bewusst, sprich warum wir in einer Welt ohne Pflanzen nicht leben können.

*I: Ok, gut. Also ein Grund, warum wir nicht in einer Welt ohne Pflanzen leben können, ist also Sauerstoff. Was wäre noch ein Grund?*

*K: Wenn es keine Pflanzen geben würde, man könnte nicht jeden Tag ein Wiener Schnitzel essen, wie der Lehrer einmal gesagt hat, weil die Tiere würden ja aussterben. Weil wenn die keine Pflanzen haben, dann könnten sie nicht leben.*

*I: Ja, ok. Also wir brauchen die Pflanzen für Sauerstoff und für Nahrung. Und ohne Pflanzen gibt's auch keine Kühe und wir haben auch kein Fleisch. Was isst ein Leopard?*

*K: Fleisch.*

*I: Wir könnten uns ja nur von Leoparden ernähren. Würde das gehen?*

*K: Nein, eigentlich nicht, weil der braucht ja Luft.*

K: Weil der dann immer die anderen isst und die würden dann auch sterben.

I: Ja, was frisst denn ein Leopard? Der frisst Antilopen zum Beispiel. Was frisst eine Antilope?

K: Pflanzen.

I: Genau. Und wenn es keine Pflanzen geben würde, dann würd es keine ...

K: ... Antilope geben.

K: ... und würde es keine Leoparden geben

K: ... und wir könnten uns nicht von Leoparden ernähren.

Zusätzlich zu den Interviews stellte ich den SchülerInnen direkt nach dem Projektunterricht und fünf Monate nach dem Projektunterricht sechs Fragen zum Thema Fotosynthese. Auf die Frage, wie sich eine Pflanze ernährt, nennen unmittelbar nach dem Projektunterricht 73% der SchülerInnen, dass die Pflanze ihre eigene Nahrung aus Wasser, Kohlendioxid und Licht herstellt. Fünf Monate später sind immer noch 65% der SchülerInnen dieser Meinung. 9% (15% nach 5 Monaten) sind der Meinung, dass sich Pflanzen hauptsächlich von Bodenmineralien ernähren. 8% (7% nach 5 Monaten) glauben, dass sich Pflanzen hauptsächlich von Wasser ernähren und 8% (15% nach 5 Monaten) glauben, dass die Pflanzen ihre eigene Nahrung aus Kohlendioxid und Bodenmineralien herstellen (Abbildung 31). Die autotrophe Natur der Pflanzen, die Fähigkeit, ihre eigene Nahrung herzustellen, ist also einem Großteil der Schülerinnen nach dem Projekt bewusst.

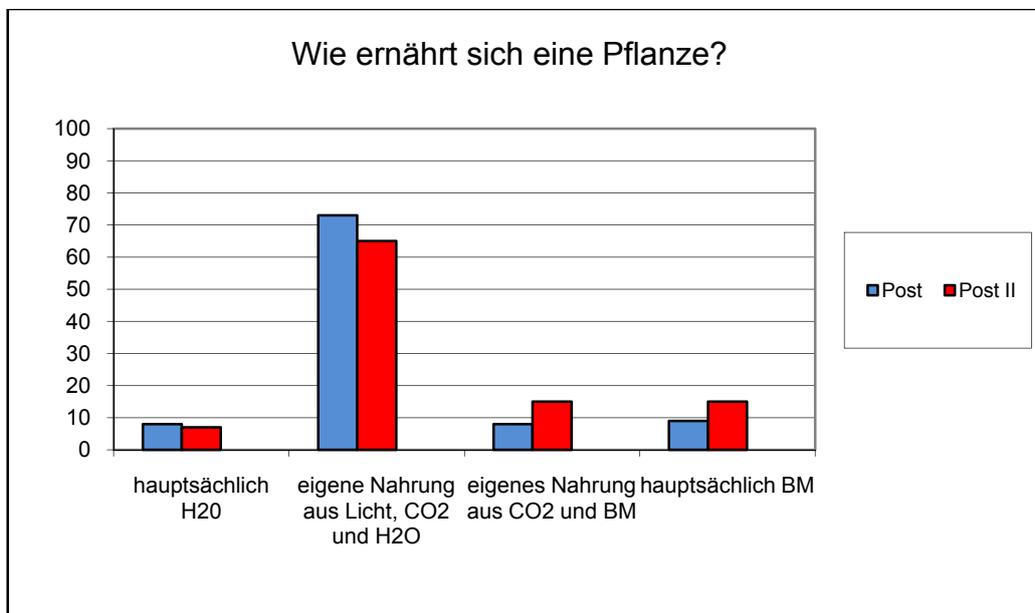


Abbildung 31: Antworten auf die Frage „Wie ernährt sich eine Pflanze?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84); BM = Bodenmineralien

Auch die Ausgangs- und Endprodukte der Fotosynthese sind einem Großteil der SchülerInnen nach dem Projektunterricht klar. Auf die Frage, was eine Pflanze bei der Fotosynthese produziert, antworten unmittelbar nach dem Projekt 80% der SchülerInnen, dass die Pflanzen Traubenzucker und Sauerstoff produzieren. 5 Monate später kennen immer noch 70% der SchülerInnen die richtige Antwort. Die restlichen 20% (unmittelbar

nach dem Projekt) respektive 30% (5 Monate nach dem Projekt) verteilen sich auf die Antworten Wasser und Kohlendioxid (7% / 7%), Kohlendioxid und Traubenzucker (10% / 18%) und Wasser und Sauerstoff (3% / 7%) (Abbildung 32).

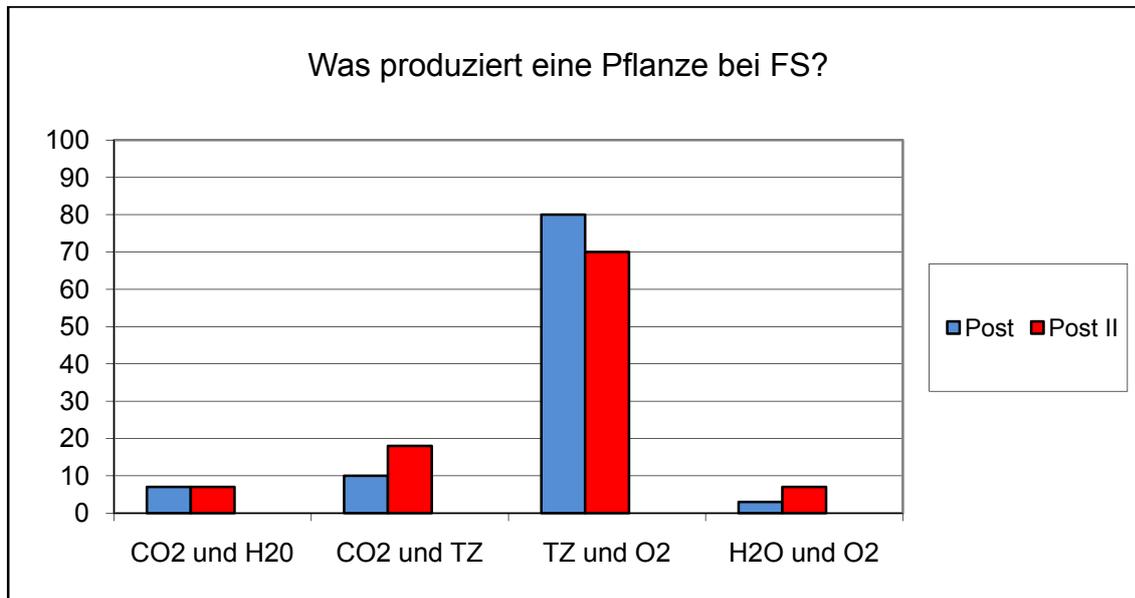


Abbildung 32: Antworten auf die Frage „Was produziert eine Pflanze bei der Fotosynthese?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84); TZ= Traubenzucker

Auf die Frage, was eine Pflanze – neben Licht und Blattgrün – für die Fotosynthese braucht, antworten unmittelbar nach dem Projekt 72% der SchülerInnen, dass die Pflanze Kohlendioxid und Wasser benötigt. 5 Monate später kennen immer noch 68% der SchülerInnen die richtige Antwort. Die restlichen 28% (unmittelbar nach dem Projekt) respektive 32% (5 Monate nach dem Projekt) verteilen sich auf die Antworten Sauerstoff und Wasser (5% / 10%), Sauerstoff und Traubenzucker (13% / 10%) und Kohlendioxid und Sauerstoff (10% / 13%) (Abbildung 33).

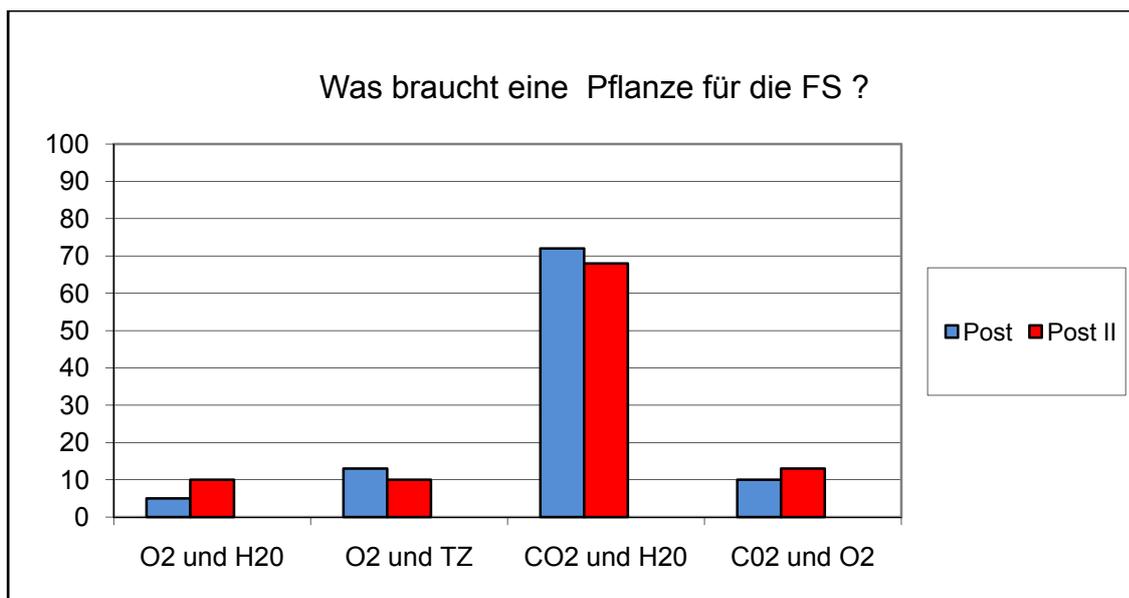


Abbildung 33: Antworten auf die Frage „Was braucht eine Pflanze für die Fotosynthese?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84)

Obwohl den SchülerInnen höchstwahrscheinlich nicht bewusst ist, dass es sich bei der Fotosynthese um eine chemische Reaktion handelt, sind einem Großteil der SchülerInnen die Ausgangs- und Endprodukte der chemischen Reaktion Fotosynthese bekannt.

Auf Basis der Interviewtranskripte gehe ich jedoch davon aus, dass die SchülerInnen der Meinung sind, dass aus Blattgrün, Licht, Wasser und Kohlendioxid Traubenzucker entsteht. Für die SchülerInnen ist Licht – ebenso wie Wasser und Kohlendioxid - eine „Zutat“. Aus den verschiedenen Zutaten entsteht Traubenzucker. Fotosynthese wird als Input-Output-Modell verstanden. Weder Chlorophyll noch Licht sind jedoch Reaktionspartner bei der Fotosynthesegleichung. Licht dient als Energiequelle für die Reaktion und Chlorophyll als Katalysator, der für die Reaktion sehr wichtig ist, jedoch dabei nicht „verbraucht“ wird.

Den SchülerInnen wird durch die Verwendung der Unterrichtsmaterialien ein sehr vereinfachtes Bild der Fotosynthese dargestellt. Aufbauend auf diesem Konzept kann dann im Lauf der weiteren Schulkarriere das Verständnis von Fotosynthese vertieft werden und auch die biochemischen und energetischen Aspekte der Fotosynthese genauer diskutiert werden. Dazu notwendig ist jedoch ein Grundverständnis zu chemischen Reaktionen und zu dem Konzept Energie und Energieumwandlung, welches – wenn überhaupt – frühestens in der 8. Schulstufe erarbeitet wird.

Um zu überprüfen, ob die SchülerInnen verstanden haben, dass Fotosynthese nur in der Anwesenheit von Blattgrün stattfinden kann, fragte ich die SchülerInnen, in welchem Teil der Pflanze Fotosynthese stattfindet. Unmittelbar nach dem Projektunterricht waren 60% der SchülerInnen der Meinung, dass Fotosynthese in den Blättern stattfindet. 5 Monate später waren 66% dieser Meinung. 13% (18% fünf Monate später) glaubten, dass Fotosynthese in allen grünen Teilen stattfindet, 20% (8%) waren der Meinung, dass Fotosynthese in der ganzen Pflanze stattfindet und 7% (8%) geben an, dass Fotosynthese in der Wurzel stattfindet (Abbildung 34).

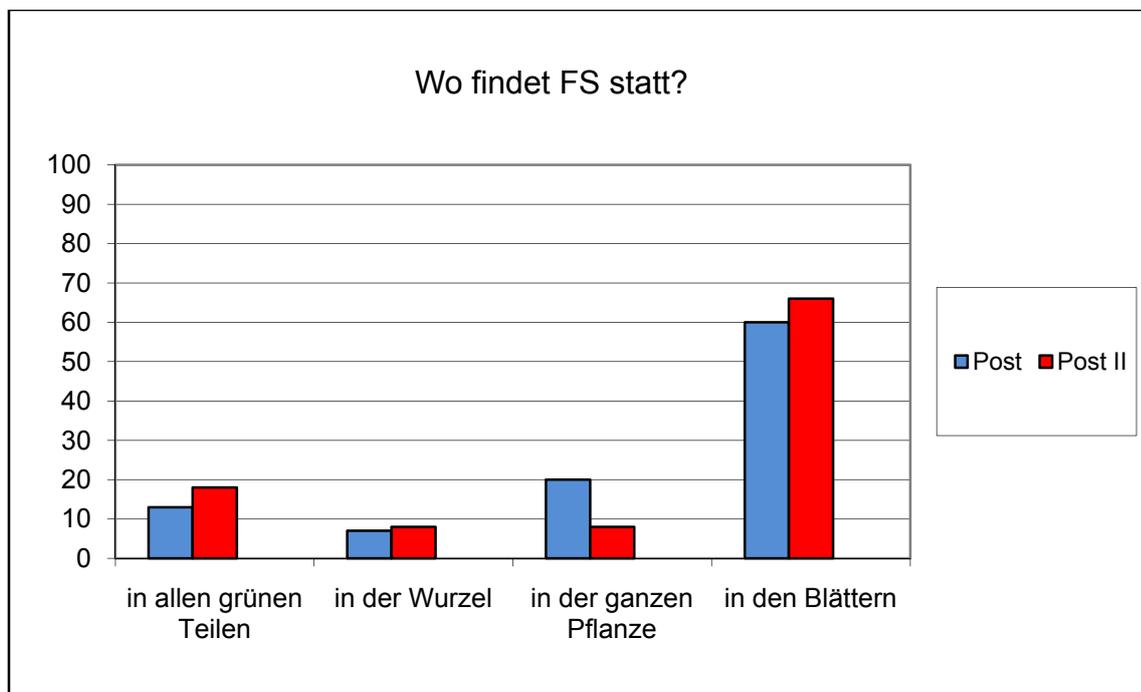


Abbildung 34: Antworten auf die Frage „Wo findet Fotosynthese statt?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84)

Ein Großteil der SchülerInnen ist also der Meinung, dass Fotosynthese in den Blättern stattfindet. Das ist nicht falsch, eine korrektere Antwort wäre jedoch gewesen, dass Fotosynthese in allen grünen Teilen stattfindet. Dass die meisten SchülerInnen glauben, dass Fotosynthese ausschließlich in den Blättern stattfindet, liegt meiner Meinung an der Sprache, die während des Projektunterrichtes verwendet wurde. Die LehrerInnen redeten von „Blattfabriken“ in denen Traubenzucker hergestellt wird oder von „Blattgrün“ das für die Fotosynthese gebraucht wird. Tatsächlich impliziert der Terminus Blattgrün, dass Chlorophyll in den Blättern vorkommt, was zwar korrekt ist, aber eben nicht ausschließlich. Denn Blattgrün findet man in allen grünen Teilen der Pflanze, also auch in Stängeln oder Teilen der Blüten.

Ich habe die SchülerInnen auch gefragt, wo in der Pflanze Blattgrün vorhanden ist. 70% der SchülerInnen (71% % Monate nach dem Projekt) gaben an, dass sich Blattgrün in den Blättern befindet. 25% (23%) gaben an, dass sich Blattgrün in allen grünen Teilen der Pflanze befindet, 1% (4%) waren der Meinung, dass sich Blattgrün in der Wurzel befindet und 4% (3%) gaben an, dass sich Blattgrün in der ganzen Pflanze befindet (Abbildung 35).

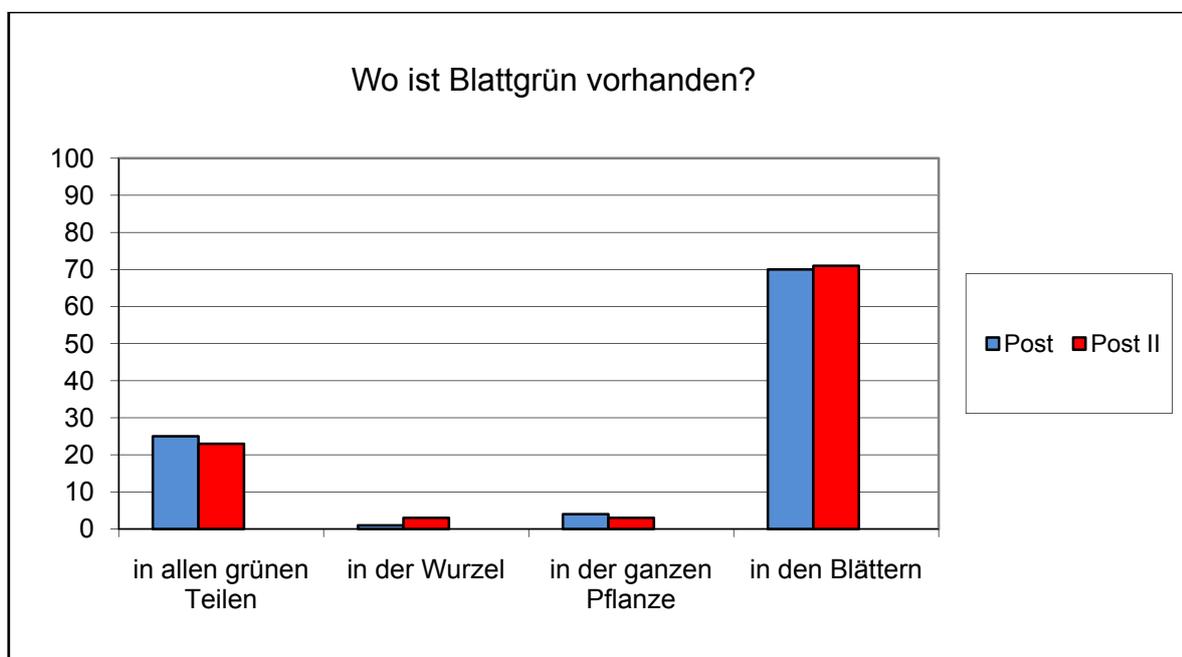


Abbildung 35: Antworten auf die Frage „Wo ist Blattgrün vorhanden?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84)

Mich interessierte jedoch nicht nur, ob die SchülerInnen wissen, wo Fotosynthese stattfindet und wo Blattgrün vorhanden ist, sondern vielmehr, ob die SchülerInnen verstehen, dass Blattgrün für die Fotosynthese notwendig ist. Wenn man die Antworten der SchülerInnen auf die zwei oben genannten Fragen kreuzanalysiert, zeigt sich dass nach dem Projektunterricht 51% der SchülerInnen angaben, dass Fotosynthese in den Blättern stattfindet und dass sich Blattgrün in den Blättern befindet. 9% der SchülerInnen waren der Meinung, dass Fotosynthese zwar in den Blättern stattfindet, Blattgrün jedoch in allen grünen Teilen der Pflanze zu finden sei und 11% gaben an, dass Fotosynthese in allen grünen Pflanzenteilen stattfindet und Blattgrün in allen grünen Pflanzenteilen vorhanden sei. 72% der SchülerInnen gaben also korrekterweise an, dass Fotosynthese nur an Orten stattfinden kann, an denen sich auch Chlorophyll befindet. Eine Gruppe von sehr guten Schülern habe ich in dem Interview nach dem Projekt auf dieses Thema angesprochen.

*I: Jetzt kommt eine schwierige Frage. Wir haben immer gesagt, die Blätter machen das. Können die anderen, zum Beispiel der Stängel, kann der das auch machen? Fotosynthese?*

*K: Der Stängel? Nein.*

*K: Nein, kann er nicht.*

*K: Weil er ja nicht grün ist. Weil er keine Chlorophyll beinhaltet.*

*K: Doch, bei den Blumen ist er grün.*

*K: Ja bei den Blumen schon. Also, aber er kann wirklich nicht umwandeln, er kann keine Fotosynthese machen.*

*I: Obwohl er grün ist?*

*K: Ja.*

*I: Warum nicht?*

*K: Ah, das ist jetzt ein bisschen eine gute Frage.*

*K: Er hat keine Spaltöffnungen.*

*K: Weil er keine Spaltöffnungen hat und kann natürlich auch kein Sauerstoff atmen.*

*K: Ja genau. Kein Sauerstoff ah, kein Kohlendioxid meinst du.*

Diese Schülergruppe war also der Meinung, dass im Stängel aufgrund fehlender Spaltöffnungen keine Fotosynthese stattfinden kann. Obwohl also ein Großteil der SchülerInnen nach dem Projekt der Meinung war, dass Fotosynthese hauptsächlich in den Blättern stattfindet (was eigentlich nicht ganz korrekt ist), haben die meisten SchülerInnen verstanden, dass ohne Blattgrün keine Fotosynthese stattfinden kann. Auch die Rolle des Blattgrüns war den meisten SchülerInnen nach dem Projekt bewusst.

*I: Und wozu braucht er das Blattgrün?*

*K: Ja dass er Sonnenlicht aufnehmen kann.*

*K: Das sind die ... wie heißt das?*

*K: Sonnenkollektoren der Pflanze.*

Unmittelbar nach dem Projekt beantworteten 83% der SchülerInnen die Frage, warum Blätter grün, sind korrekt, 5 Monate später sogar 90% der SchülerInnen (Abbildung 37).

Um zu überprüfen, ob die SchülerInnen verstanden haben, dass Fotosynthese nur stattfinden kann, wenn Licht vorhanden ist, stellte ich die Frage, wann Fotosynthese stattfindet. 55% (60% nach 5 Monaten) sagten, dass Fotosynthese immer dann stattfindet, wenn Licht vorhanden ist, 32% (19%) gaben an, dass Fotosynthese nur tagsüber stattfindet, 10% (11%) waren der Meinung, dass Fotosynthese Tag und Nacht stattfindet und 1% (10%) gaben an, dass Fotosynthese nur in der Nacht stattfindet (Abbildung 36).

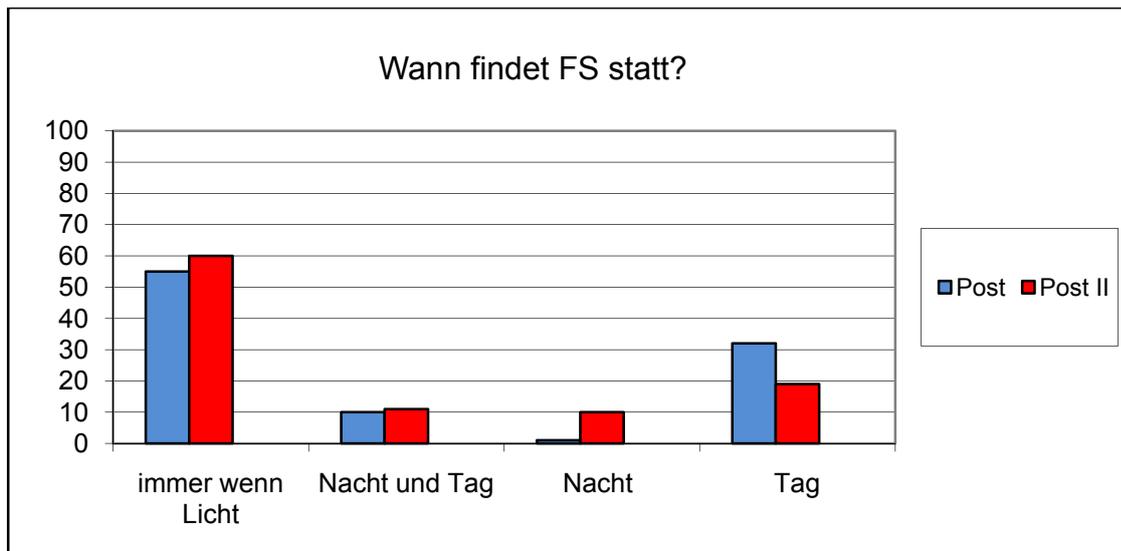


Abbildung 36: Antworten auf die Frage „Wann findet Fotosynthese statt?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84)

Zusätzlich zu den sechs speziellen Fragen zum Thema Fotosynthese, stellte ich vor, unmittelbar nach und fünf Monate nach dem Projektunterricht fünf allgemeine Fragen zum Themenbereich Fotosynthese/Luft/Pflanzenwachstum.

Die Frage, was mit einer brennenden Kerze passiert, wenn sie mit einem Becherglas zugedeckt wird und eine Erklärung, warum das passiert, konnten vor dem Projektunterricht 24% richtig beantworten. Nach dem Projektunterricht beantworteten 92% der SchülerInnen diese Frage korrekt, fünf Monate später 88%.

Zwei Gründe, warum wir in einer Welt ohne Pflanzen nicht leben können, konnten vor dem Projektunterricht 27% der SchülerInnen aufzählen, nach dem Projektunterricht 60% und fünf Monate danach 56% der SchülerInnen.

Die multiple choice Frage, wie Sauerstoff in die Luft kommt, wurde vor dem Projektunterricht von 32% richtig beantwortet. Viele Schülerinnen waren der Meinung, dass nur Bäume Sauerstoff produzieren, was nicht korrekt ist. Nach dem Projektunterricht wurde die Frage von 88% der SchülerInnen richtig beantwortet und fünf Monate später ebenfalls von 88% der SchülerInnen.

Vor dem Projektunterricht konnten 45% der SchülerInnen mindestens 3 „Dinge“ (Wasser, Licht, Bodenmineralien, Kohlendioxid, Blattgrün) nennen, welche eine Pflanze zum Wachsen braucht. „Erde“ ließ ich als korrekte Antwort gelten. Nach dem Projekt konnten 91% der SchülerInnen 3 „Dinge“ nennen und fünf Monate später 89% der SchülerInnen. Die meisten SchülerInnen nannten nach dem Projekt jedoch 4 oder 5 Faktoren für das Pflanzenwachstum.

Die multiple choice Frage, warum Blätter grün sind, wurde vor dem Projektunterricht von 54% der SchülerInnen richtig beantwortet, nach dem Projektunterricht von 83% und fünf Monate danach von 94% der SchülerInnen (Abbildung 37).

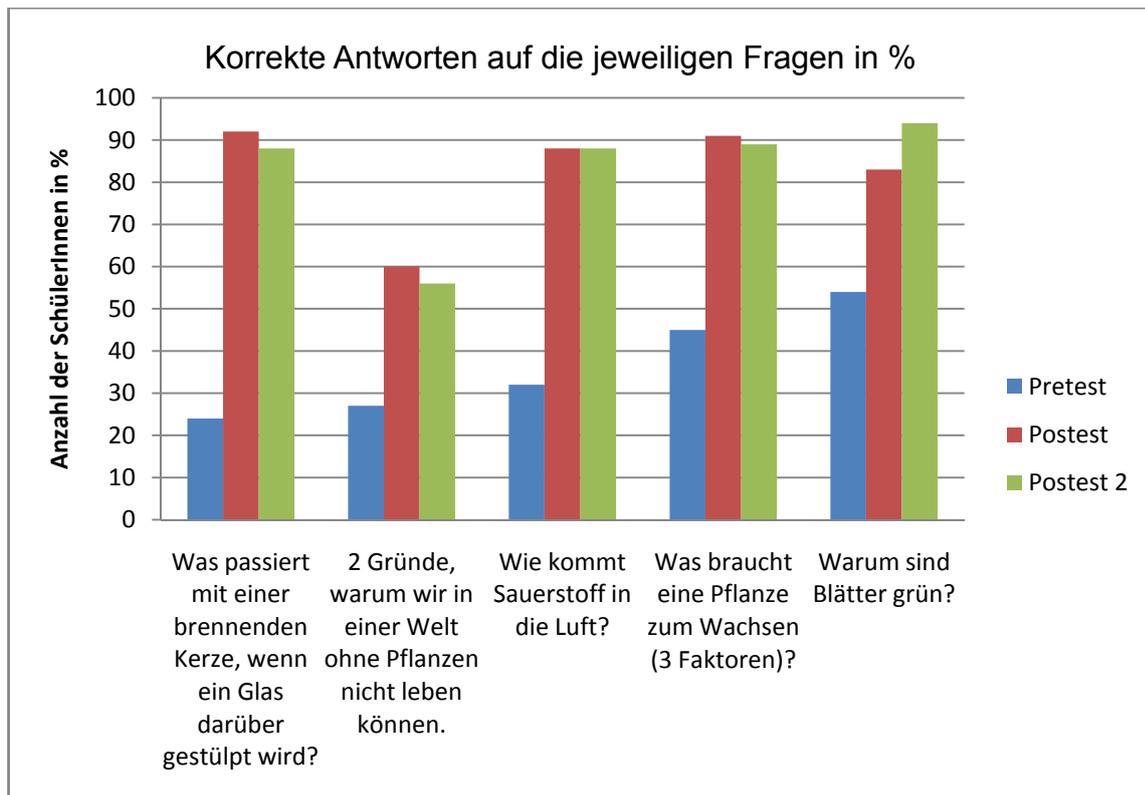


Abbildung 37: Anzahl der SchülerInnen, die die aufgelisteten Fragen richtig beantworteten. Angaben in Prozent; Prätest, Posttest, Posttest 2 (n=84)

Zusätzlich habe ich die Anzahl der korrekten Antworten auf diese fünf allgemeinen Fragen im Lauf des Projektes verglichen. Vor dem Projektunterricht haben die meisten SchülerInnen keine (19%), eine (21%), zwei (26%) oder drei (25%) Fragen richtig beantworten können. 7% der 84 SchülerInnen konnten bereits vor dem Projektunterricht vier Fragen richtig beantworten und eine Schülerin (1%) konnte alle fünf Fragen richtig beantworten.

Unmittelbar nach dem Projektunterricht beantworteten 43% der SchülerInnen alle Fragen korrekt, 37% beantworteten vier Fragen korrekt, 13% drei Fragen, 5% zwei Fragen und jeweils eine Schülerin/ein Schüler beantworteten eine oder keine Frage richtig (jeweils 1%).

Fünf Monate nach dem Projektunterricht beantworten 55% der SchülerInnen alle Fragen korrekt, 37% beantworteten vier Fragen korrekt, 10% drei Fragen, 7% zwei Fragen und eine Schülerin/ein Schüler beantworteten eine Frage richtig (1%) (Abbildung 38).

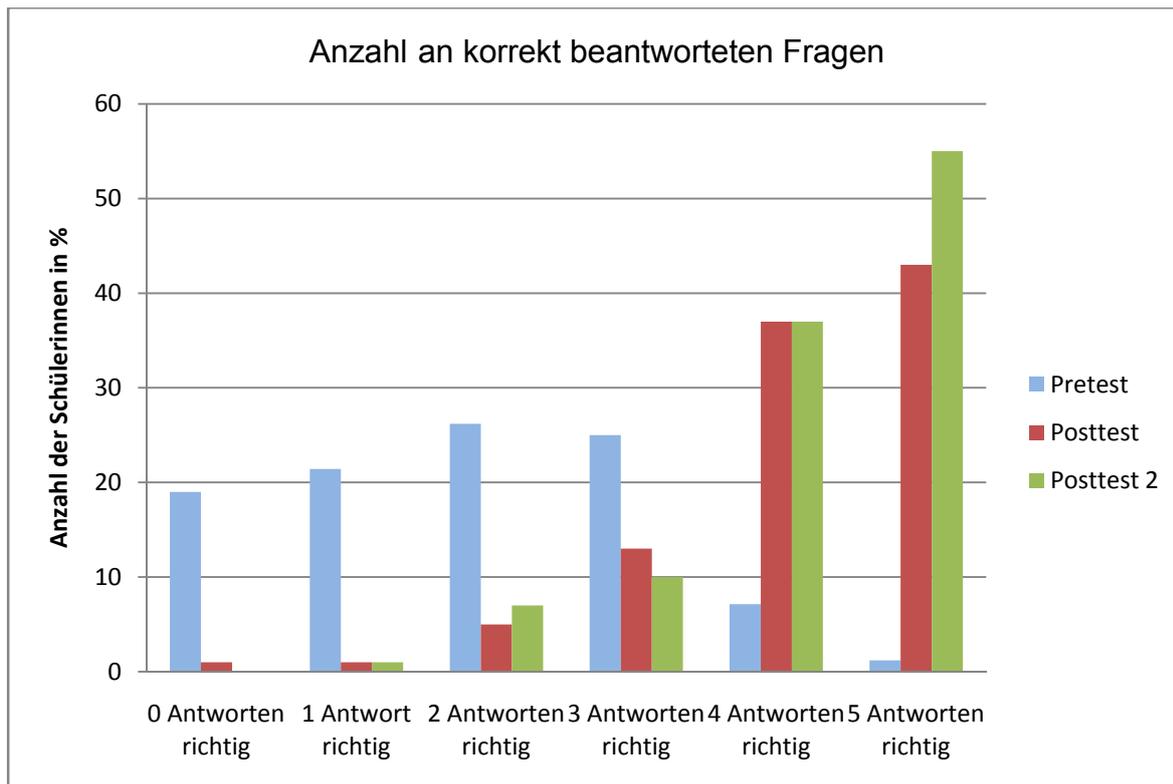


Abbildung 38: Anzahl an korrekt beantworteten Fragen; Pretest, Posttest, Posttest 2 (n=84)

Interessant zu beobachten ist, dass sich bei allen gestellten Fragen (sowohl den fünf allgemeinen Fragen als auch den sechs spezielleren Fragen zum Thema Fotosynthese) kaum Unterschiede zwischen dem Posttest (unmittelbar nach dem Projekt) und dem Posttest 2 (fünf Monate nach dem Projekt) festzustellen sind. Das heißt, dass jene Inhalte, die im Lauf des Projektes gelernt wurden, auch fünf Monate später noch gewusst wurden, obwohl die Inhalte weder in Form eines Testes noch auf eine andere Weise wiederholt wurden. Durch die intensive Auseinandersetzung mit dem Thema und das selbständige Erarbeiten einzelner Aspekte des Themas, wurden die wichtigsten Inhalte nachhaltig gelernt. Dies trifft auch auf falsch Gelerntes wie etwa, dass nur in Blättern Fotosynthese stattfindet, zu.

#### 5.4.2.3 Nach Leistung differenzierte Analyse einiger Daten

Offene Lernumgebungen mit vielen Möglichkeiten zum selbständigen Arbeiten und Experimentieren können SchülerInnen – besonders schwächere SchülerInnen – auch überfordern. Deshalb ist es auch besonders interessant zu untersuchen, ob die verwendeten Lehr- und Lernmethoden in Bezug auf die Sachkompetenz besseren SchülerInnen mehr zugute kommen als schwächeren.

Um diese Frage beantworten zu können, habe ich die Antworten auf die Fragen, die ich vor dem Projekt, unmittelbar nach dem Projekt und fünf Monate nach dem Projekt gestellt habe, unter dem Leistungsaspekt analysiert. Die acht Fragen setzten sich aus den fünf allgemeinen Fragen zum Themenkomplex Luft/Pflanzenwachstum/Fotosynthese und den drei Fragen zu den Charakteristika eines wissenschaftlichen Experimentes zusammen. Die Unterteilung in drei verschiedene Leistungsgruppen (*high achievers*, *medium achievers* und *low achievers*) basiert auf den Einteilungen der jeweiligen KlassenlehrerInnen.

Vor dem Projektunterricht haben die SchülerInnen, die von den LehrerInnen als sehr gute SchülerInnen eingestuft worden sind, vier (durchschnittlich 4,0) der acht Fragen richtig beantwortet, nach dem Projekt sieben Fragen (durchschnittlich 6,7) und 5 Monate nach dem Projekt ebenfalls sieben (durchschnittlich 7,17) Fragen richtig beantwortet.

Die SchülerInnen, die von den LehrerInnen als mittelmäßige SchülerInnen eingestuft worden sind, haben vor dem Projektunterricht zwei (2,19) Fragen richtig beantwortet, unmittelbar nach dem Projektunterricht sechs (5,54) Fragen und fünf Monate nach dem Projektunterricht ebenfalls sechs (6,27).

Die SchülerInnen, die von den LehrerInnen als schwache SchülerInnen eingestuft worden sind, beantworteten vor dem Projekt eine (1,0) der acht Fragen richtig, nach dem Projekt vier (3,91) Fragen und fünf Monate nach dem Projekt ebenfalls vier (4,36) Fragen korrekt (Abbildung 39).

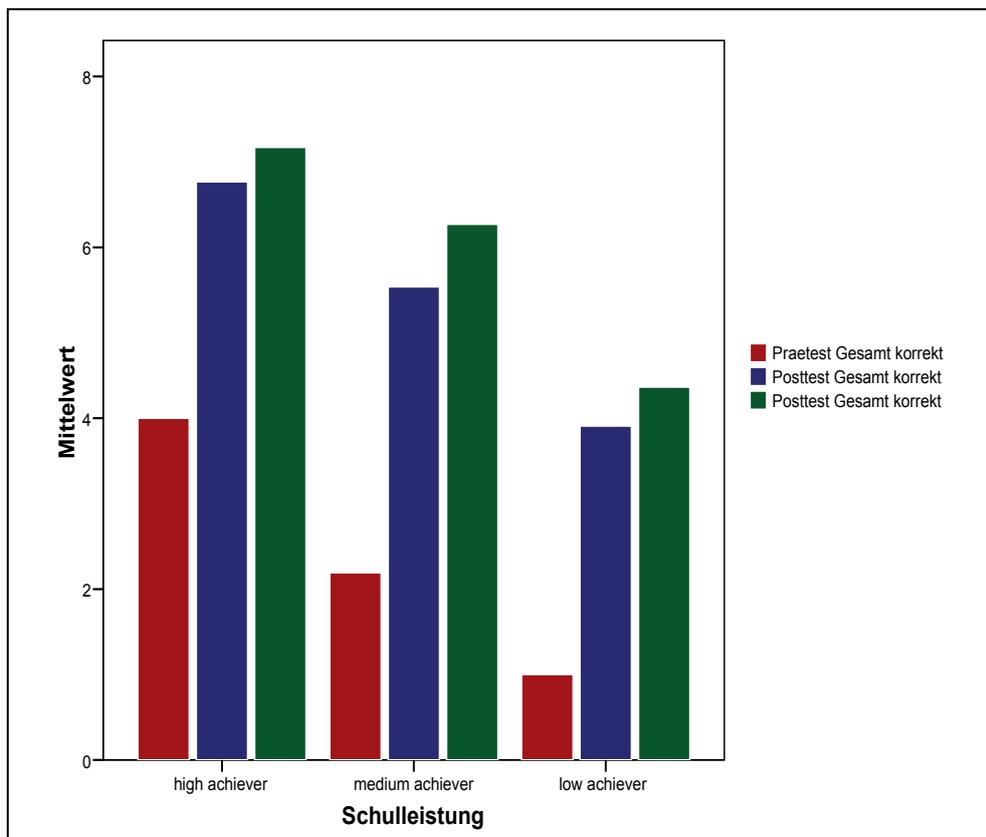


Abbildung 39: Mittelwert der korrekt beantworteten Fragen (Prätest, Posttest, Posttest 2); aufgeteilt in drei Leistungsgruppen (n=84)

Diese Daten zeigen, dass die Einschätzungen der LehrerInnen größtenteils korrekt waren. Die schwächeren SchülerInnen beantworteten sowohl vor als auch nach dem Projekt weniger Fragen korrekt als die mittelmäßigen SchülerInnen. Die mittelmäßigen SchülerInnen wiederum beantworteten weniger Fragen korrekt als die sehr guten SchülerInnen.

Alle drei SchülerInnengruppen beantworteten von den acht gestellten Fragen nach dem Projekt wesentlich (durchschnittlich drei) Fragen mehr als vor dem Projekt. Die sehr guten SchülerInnen starteten in Bezug auf die acht Fragen auf einem höheren Niveau und verbesserten sich durchschnittlich um drei korrekte Antworten. Dasselbe gilt für die mittelmäßigen SchülerInnen und auch für die schwachen SchülerInnen. Beide verbesserten sich durchschnittlich um drei korrekte Antworten, wobei zu berücksichtigen

ist, dass sie vor dem Projektunterricht weniger Fragen korrekt beantworten konnten als die sehr guten SchülerInnen. Konzentriert man sich bei diesen acht Fragen jedoch ausschließlich auf den Wissensgewinn (= Differenz der korrekten Antworten vor und nach dem Projekt), zeigt sich, dass es aufgrund der Leistungsunterschiede der einzelnen SchülerInnen keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf den Wissensgewinn gibt (Abbildung 40).

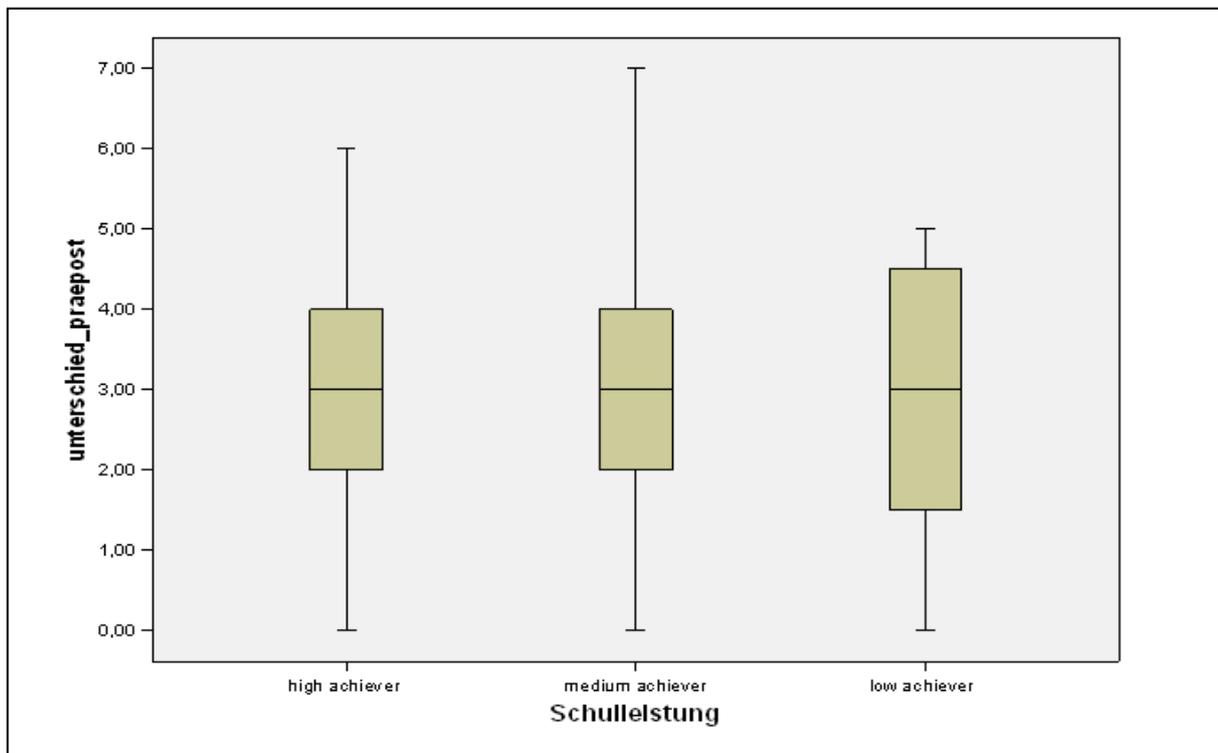


Abbildung 40: Differenz der vor und nach dem Projekt korrekten Antworten auf acht Fragen zum Thema „Fotosynthese“ und „Wie WissenschaftlerInnen arbeiten“; unterteilt in drei Leistungsgruppen

Diese Daten legen nahe, dass bessere SchülerInnen von den verwendeten Unterrichtsmethoden nicht mehr profitieren als schwächere SchülerInnen oder umgekehrt. Zu offene Lernumgebungen führen oft dazu, dass sich schwächere SchülerInnen, die unter konkreter Anleitung oftmals leichter lernen als selbstgesteuert, überfordert sind. Bei den erstellten Unterrichtsmaterialien wechseln sich sehr offene Lerneinheiten, bei denen die SchülerInnen selbständig experimentieren mit mehr strukturierten Lerneinheiten, in denen die Lehrerin/der Lehrer Inhalte vorgibt oder die SchülerInnen Arbeitsblätter ausfüllen, ab. Diese Balance zwischen subjektiv wahrgenommener Selbstbestimmtheit beim Lernenden und strukturierenden Inputs der Lehrperson führt dazu, dass weder die sehr guten SchülerInnen unterfordert noch die eher schwachen SchülerInnen überfordert werden und bei allen SchülerInnen ein Wissenszuwachs auf der Sachebene zu verzeichnen ist.

Zusammenfassend lässt sich zum Thema Pflanzenwachstum sagen, dass die vorunterrichtlichen Konzepte der SchülerInnen (Pflanzen brauchen Sonne, Wasser und Erde zum Wachsen) im Rahmen des Projektunterrichtes zu wissenschaftlich anerkannten Konzepten (Pflanzen erstellen bei der Fotosynthese aus Sonnenlicht, Wasser und Kohlendioxid Zucker und Stärke. Stärke und Bodenmineralien sind für das Pflanzenwachstum zuständig) weiterentwickelt wurden. Die Bedeutung des Sonnenlichtes ist den meisten SchülerInnen bewusst. Auch die Rolle des Chlorophylls als „Sonnenkollektor“ ist den meisten SchülerInnen bewusst. Viele SchülerInnen sind der Meinung, dass Fotosynthese ausschließlich in den Blättern stattfindet. Dies liegt

höchstwahrscheinlich an der im Projektunterricht verwendeten Sprache und Symbole. Es war von Blattfabrik und von Blattgrün die Rede und das Blatt wurde auch bei den Tafelbildern sehr stark in den Mittelpunkt gestellt. Die meisten SchülerInnen kennen nach dem Projekt die Ausgangs- und Endprodukte der Fotosynthese und auch die autotrophe Ernährungsweise der Pflanzen wurde von den meisten SchülerInnen verstanden. Auch die Sprache der SchülerInnen entwickelte sich im Laufe des Projektes von der Verwendung der Alltagssprache (Pflanzen brauchen Erde) hin zur präziseren Verwendung wissenschaftlicher Termini (Pflanzen brauchen Bodenminerale). Fünf Monate nach dem Projekt sind den meisten SchülerInnen die wichtigsten Inhalte noch geläufig und es lässt sich anhand der Fragebögen zu den wichtigsten sachbezogenen Projektinhalten kaum ein Wissensverlust im Vergleich zum den Fragen unmittelbar nach Projektende feststellen. Der Wissenszuwachs ist bei den sehr guten SchülerInnen als auch bei den schwächeren SchülerInnen gleichermaßen festzustellen.

Im Rahmen des Projektes wurde Fotosynthese als Nahrungsproduktion für die Pflanze vermittelt, bei der Zucker gebildet wird, der gemeinsam mit Bodenmineralien für das Pflanzenwachstum notwendig ist. Ich entschied mich für einen linearen Vermittlungsprozess, der folgendem Schema folgt: die Pflanze benötigt Licht, Wasser, Kohlendioxid und Blattgrün, um Zucker herzustellen. Dieser Prozess nennt sich Fotosynthese. Zucker ist die Nahrung der Pflanzen, welche gemeinsam mit wenigen Gramm Bodenmineralien für das Pflanzenwachstum zuständig ist. Der gewählte lineare Vermittlungsprozess ist meiner Ansicht nach eine altersgemäße Form, das komplexe Thema Fotosynthese zu vermitteln und setzt an den vorunterrichtlichen Konzepten der SchülerInnen an. Natürlich bleiben durch diese vereinfachte Vermittlungsform auch noch etliche Fragen offen. So wird zum Beispiel Fotosynthese von den SchülerInnen nach dem Projekt größtenteils als Input-Output-Modell gesehen, bei dem Sonnenlicht, Wasser und Kohlendioxid in Zucker umgewandelt wird, was nicht falsch ist, jedoch auch nicht ganz korrekt. Korrekt wäre, dass Wasser und Kohlendioxid mithilfe der Sonnenenergie in Zucker umgewandelt wird. Nur Wasser und Kohlendioxid sind Teil der chemischen Reaktion, Sonnenlicht stellt die für die chemische Reaktion erforderliche Energie zur Verfügung. Die biochemischen Prozesse der Fotosynthese inklusive der Reaktionsgleichung können jedoch erst verstanden werden, wenn ein chemisches Basiswissen vorhanden ist, in Österreich also frühestens in der Sekundarstufe 2. Auch die energetischen Aspekte der Fotosynthese können in der Volksschule meiner Ansicht nach nicht sinnerfassend vermittelt werden, da das Konzept Energie in dieser Altersstufe noch nicht verstanden wird.

Die erhobenen Daten zum Thema Sachkompetenz legen zusammenfassend folgende Schlüsse nahe:

- Die vorunterrichtlichen Konzepte der SchülerInnen zum Thema Luft („gute Luft“ und „schlechte Luft“) und Pflanzenwachstum (Pflanzen brauchen Erde, Wasser und Licht zum Wachsen) konnten im Rahmen des Projektunterrichtes zu wissenschaftlich anerkannten Konzepten („Ausatemungsluft enthält 5% mehr Kohlendioxid und 5% weniger Sauerstoff als Einatemungsluft“, „Pflanzen machen bei der Fotosynthese Zucker, den sie zum Wachsen benötigen“) weiterentwickelt werden.
- In Bezug auf das Thema Luft war den SchülerInnen nach dem Projektunterricht nicht nur klar, dass sich Ausatemungs- und Einatemungsluft unterscheiden, sondern sie konnten den Unterschied auch klar benennen. Anstelle des Beschreibens eines Sachverhaltes („frische Luft ist halt frischer“) tritt eine Erklärung für den Sachverhalt (Einatemungsluft ist „frischer“, weil sie mehr Sauerstoff und weniger Kohlendioxid enthält). Die Formulierungen der SchülerInnen änderten sich im Lauf des Projektes ebenfalls. Während vor dem Projektunterricht sehr viele Erklärungen zum Thema Luft in der Alltagssprache der Kinder formuliert wurden („dreckige Luft“, „Bäume

machen Luft frisch“) wurden nach dem Projektunterricht wissenschaftliches Vokabular richtig verwendet („Pflanzen nehmen Kohlendioxid über die Spaltöffnungen auf und geben Sauerstoff ab“).

- In Bezug auf das Thema Pflanzenwachstum verstanden die SchülerInnen nach dem Projekt, dass Pflanzen durch den Prozess der Fotosynthese ihre eigene Nahrung herstellen. Sie kannten die Ausgangs- und Endprodukte der Fotosynthese und verstanden die Rolle des Lichtes und auch die des Chlorophylls. Wichtige ökologische und physiologische Aspekte der Fotosynthese wurden also verstanden. Während die SchülerInnen vor dem Projekt ausschließlich makrophänomenologische Erklärungen für das Pflanzenwachstum lieferten (Pflanzen brauchen Licht, Wasser und Erde) wussten sie nach dem Projektunterricht, dass die Pflanze durch die Fotosynthese Zucker herstellt, der gemeinsam mit den Bodenmineralien für das Pflanzenwachstum zuständig ist. Wie aus Zucker Holz oder Blätter entstehen, wurde jedoch während des Projektunterrichtes nicht geklärt.
- Die unterrichteten ökologischen Aspekte (Kohlendioxid – Sauerstoff – Kreislauf; Pflanzen als Startpunkt der Nahrungskette) und physiologischen Aspekte (Blätter enthalten Blattgrün, um das Licht aufzunehmen; über die Spaltöffnungen nehmen die Pflanzen Kohlendioxid auf und geben Sauerstoff ab) der Fotosynthese wurden von einem Großteil der SchülerInnen verstanden. Die energetischen und biochemischen Aspekte wurden im Projekt jedoch nicht angesprochen. Für viele SchülerInnen ist die Fotosynthese ein simples Input-Output-Modell (Wasser, Kohlendioxid, Sonnenlicht rein – Zucker raus). Die energetischen und biochemischen Aspekte, die ebenfalls sehr wichtig für ein Verständnis des Themas Fotosynthese sind, können jedoch erst sinnbringend unterrichtet werden, wenn SchülerInnen einfache chemische Reaktionen und das Konzept „Energie“ verstehen. Dies ist meiner Meinung nach erst in der Sekundarstufe 2 möglich.
- Die Vermittlung des Themas Fotosynthese im Kontext Pflanzenwachstum und die lineare Vermittlung (Pflanze benötigt Licht, Wasser, Kohlendioxid und Blattgrün, um Zucker herzustellen. Dieser Prozess nennt sich Fotosynthese. Zucker ist die Nahrung der Pflanzen, welche gemeinsam mit wenigen Gramm Bodenmineralien für das Pflanzenwachstum zuständig ist) halte ich für eine für 9-12jährige SchülerInnen sehr geeignete, da sie vorhandene SchülerInnenvorstellungen zum Thema Pflanzenwachstum berücksichtigt und erweitert. Durch eine reine Fokussierung auf die Fotosynthese Gleichung mit Zucker oder Stärke als Endprodukt, besteht die Gefahr, dass die SchülerInnen die Bedeutung der Fotosynthese für das Pflanzenwachstum und somit auch die ökologische Bedeutung der Fotosynthese nicht verstehen.
- Die Ergebnisse des Posttests 2 zeigten, dass die SchülerInnen auch fünf Monate nach dem Projekt die wichtigsten Fragen zum Thema Fotosynthese richtig beantworten konnten. Die intensive Auseinandersetzung mit dem Thema führte zu einem nachhaltigen Wissenszuwachs.
- Der Wissenszuwachs der schwachen SchülerInnen unterschied sich nicht wesentlich vom Wissenszuwachs der guten SchülerInnen. Dies ist ein Indiz dafür, dass die schwachen SchülerInnen durch die offenen Lernumgebungen nicht überfordert waren bzw. die immer wieder eingestreuten sehr strukturierten Arbeitsaufträge und Informationen der LehrerInnen etwaige Überforderungen kompensierten.

### 5.4.3 Methodenkompetenz und kognitive Kompetenz

Bei den erstellten Unterrichtsmaterialien ist das selbständige Experimentieren, das aktive Tun, das Messen und Manipulieren ein wesentlicher Bestandteil. Eng gekoppelt an das aktive Experimentieren, das *hands-on*, ist jedoch auch der Reflexionsprozess, das Interpretieren der Daten und das Ziehen von - auf den Daten basierenden - Schlussfolgerungen, das *minds-on*. Durch diese enge Verknüpfung von *hands-on* und *minds-on*, durch den Fokus auf „forschend-begründendes“ Lernen werden die Ergebnisse zum Thema Methodenkompetenz und kognitive Kompetenz auch nicht getrennt voneinander präsentiert, sondern gemeinsam.

Um zu veranschaulichen, was ich unter forschend-begründend verstehe, beginne ich dieses Kapitel mit einem Fallbeispiel. Das Fallbeispiel basiert auf den Beobachtungen des Moduls 4 (Sauerstoffproduktion der Wasserpest) in einer Klasse.

#### 5.4.3.1 Beispiel für eine forschend-begründende Lehr-Lerneinheit

Zu Beginn der Stunde wiederholt die Lehrerin, Frau Maier (alle Name wurden geändert), noch einmal Priestley's Experiment. Fast alle SchülerInnen zeigen auf und wollen das Experiment noch einmal erklären. Bei der Frage nach der Funktion der Spaltöffnungen zeigen wesentlich weniger SchülerInnen auf. Auch diese Frage wird dann jedoch sehr gut von einer Schülerin erklärt.

Nach der Wiederholung erklärt Frau Maier, was die SchülerInnen heute rausfinden sollen und schreibt die Forschungsfrage an die Tafel: Braucht eine Pflanze Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren? Sie erklärt die Materialien, die dazu zur Verfügung stehen (Wasserpest, destilliertes Wasser, Leitungswasser, Mineralwasser, drei Reagenzgläser, Reagenzglashalterungen und eine Stoppuhr). Sie erklärt den SchülerInnen auch, dass man bei frisch abgeschnittenen Wasserpestsprossen Sauerstoffbläschen aufsteigen sieht, wenn die Schnittstelle unter Wasser ist. Nach diesen Erklärungen teilt sie die Arbeitsblätter und die Materialien aus.

Die rote Gruppe (fünf sehr gute Schülerinnen) hat sofort verstanden, worum es geht und beginnt zu arbeiten. Sie diskutieren nur kurz, wie sie vorgehen müssen. Am längsten dauert in dieser Gruppe die Rolleneinteilung, wer was machen darf. Sie füllen je ein Reagenzglas mit Leitungswasser, Mineralwasser und destilliertem Wasser, geben die frisch abgeschnittenen Wasserpestsprossen in das Reagenzglas und beginnen zu zählen, wie viele Bläschen in einer Minute aufsteigen. Bei destilliertem Wasser steigen 0 Bläschen auf, bei Leitungswasser 6 Bläschen und bei Mineralwasser 27 Bläschen. Die SchülerInnen tragen die Ergebnisse in das Arbeitsblatt ein. Da die rote Gruppe wesentlich früher fertig ist als die anderen Gruppen, machen sie unaufgefordert noch ein zweites Experiment. Sie zählen wieder die Bläschen in allen drei Reagenzgläsern – diesmal jedoch einmal am Fenster und einmal bei zugezogenem Vorhang.

Anschließend notieren sie die Ergebnisse auf dem Arbeitsblatt und zeichnen den Versuchsaufbau auf dem Arbeitsblatt ein (Abbildung 41).

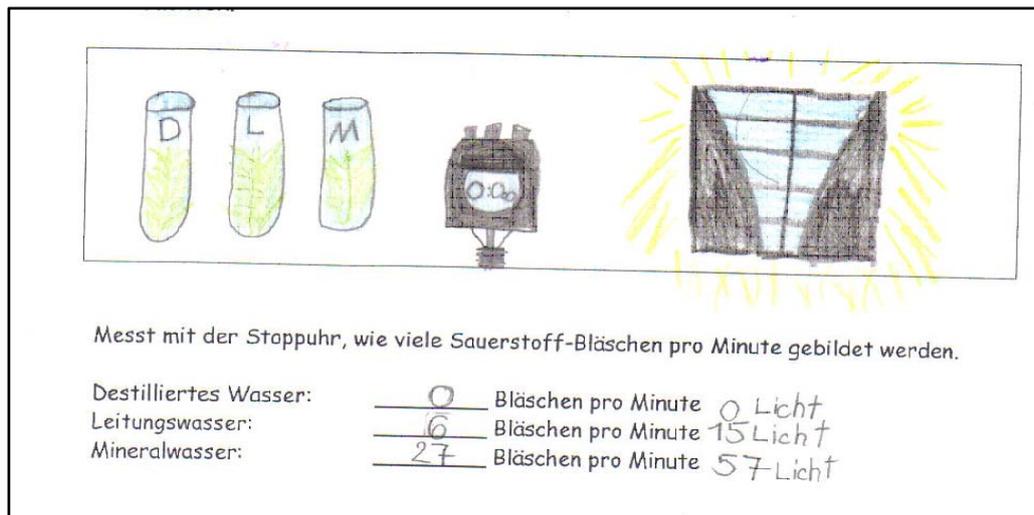


Abbildung 41: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt einer Schülerin der roten Gruppe

Die ganze Zeit über arbeiten die Schülerinnen ohne Unterstützung von Frau Maier. Diese hilft in der Zwischenzeit einer Gruppe von schwächeren SchülerInnen, die offensichtlich nicht verstanden haben, was sie machen sollen. Dazu wurde von Anja Christanell, die gemeinsam mit mir die Unterrichtsstunden beobachtete, Folgendes protokolliert:

*Die rosa Gruppe (schwächste Gruppe in der Klasse) liest die Aufgabe nicht durch, erst durch Input der Lehrerin fangen sie an, Bläschen pro Minute zu zählen, davor haben sie keine Idee was sie machen könnten, schauen aber auch nicht bei den Anweisungen auf den Blättern nach.*

Nach ungefähr zwanzig Minuten stellt sich Frau Maier vor die Tafel und sammelt die Ergebnisse der SchülerInnen. Sie erstellt eine Tabelle an der Tafel und diskutiert mit den SchülerInnen, was man aus den Ergebnissen in der Tabelle schließen kann. Bei keiner einzigen Gruppe wurde in destilliertem Wasser Sauerstoff gebildet. Beim Leitungswasser stiegen einige Bläschen auf, beim Mineralwasser sehr viele. Die Anzahl der Bläschen unterschied sich bei den einzelnen Gruppen jedoch wesentlich. Frau Maier schrieb folgendes in ihr Projekttagbuch:

*Die Schüler haben nach dieser Einheit erkannt, dass Kohlendioxid gebraucht wird, um Sauerstoff herzustellen. Alle Gruppen erkannten, dass Pflanzen in destilliertem Wasser keinen Sauerstoff bilden! Beim Leitungswasser waren bei vier Gruppen einige Bläschen, bei der grünen Gruppe jedoch viel mehr. Mineralwasser produzierte die meisten Bläschen. Die blaue Gruppe hatte sehr viele Bläschen und sie sagten, dass sie viele kleine Bläschen hatten. Die grüne Gruppe hatte weniger Bläschen, sagten aber, dass diese Bläschen sehr groß waren.*

Das erste Stundenziel war, dass die SchülerInnen verstehen, dass Pflanzen Kohlendioxid benötigen, um Sauerstoff zu produzieren. Dieses Ziel wurde meiner Ansicht nach und auch nach Meinung von Frau Maier erreicht.

Ein zweites Ziel war, dass die SchülerInnen verstehen, dass die Pflanze Licht benötigt, um Sauerstoff zu produzieren. Dazu teilte Frau Maier einen *concept cartoon* aus, bei dem drei Kinder (Antonia, Christian und Anja) streiten, ob Pflanzen nur bei Sonnenschein, nur in der Nacht oder sowohl in der Nacht als auch am Tag Sauerstoff produzieren (Abbildung 16).

Gleich nach dem Austeilen der Arbeitsblätter, beginnen die SchülerInnen zu diskutieren, wer Recht hat und geben erste Vermutungen ab. In der roten Gruppe sind vier

SchülerInnen der Meinung, dass Antonia Recht hat. Eine Schülerin, Rosa, zweifelt und sagt, dass entweder Christian oder Antonia Recht hat. Auch in den anderen Gruppen sind die meisten SchülerInnen der Meinung, dass Antonia Recht hat. Einige SchülerInnen sind der Meinung, dass

*die Antonia hat Recht, sonst könnten wir in der Nacht ja nicht atmen.*

Die SchülerInnen kreuzen auf ihren Arbeitsblättern an, wer ihrer Meinung nach Recht hat. Neben Rosa ist nur noch ein weiterer Schüler, Rob, der Meinung, dass Christian Recht hat und die Pflanzen nur bei Sonnenschein Sauerstoff produzieren.

Die SchülerInnen beginnen mit den Experimenten. Frau Maier hat leere Schuhkartons dabei, die sie den SchülerInnen zur Verfügung stellt. Die Funktion der Schuhkartons erklärt sie den SchülerInnen jedoch nicht.

Folgende Beobachtungen wurden von Anja Christanell in ihrem Stundenprotokoll notiert:

*In der roten Gruppe hat Rosa gleich am Anfang die Idee alle drei Reagenzgläser mit Mineralwasser zu füllen, damit man die Ergebnisse in den unterschiedlichen Lichtverhältnissen auch gut vergleichen kann. Nach ihrer Idee handelt die Gruppe dann, wobei die Handelnden dann meistens nicht Rosa selbst ist, sondern die anderen Mädchen sind (worüber sich Rosa im Laufe des Experiments auch einmal beklagt), vor allem dominant ist Anna. Rosa fällt ein, dass die Kürzel auf den Gläsern auch noch anders gelesen werden können. Sie veranlasst, dass das Glas, das mit D beschriftet ist (Anmerkung CB: D stand beim letzten Versuch für destilliertes Wasser, M für Mineralwasser und L für Leitungswasser) in den Karton kommt (D für Dunkel), das Glas M in die Ecke, in der normales „Raumlicht“ ist (M für Mittellicht) und das Glas L ans Fenster (L für Licht), wo das meiste Tageslicht vorhanden ist.*

*Ein Mädchen stellt sich zum Fenster mit einem Glas, ein anderes hält das Glas in der Ecke mit dem „Mittellicht“, das dritte beobachtet ein Glas im Karton, der noch zusätzlich mit einer Serviette abgedichtet wurde. Ein Mädchen stoppt und jedes der drei Mädchen an den verschiedenen Stellen beginnt die Bläschen zu zählen. Rosa kann nur zuschauen.*

*Es funktioniert beim ersten Mal nicht gleich, weil ein Mädchen nicht gezählt hat. Beim zweiten Mal funktioniert es dann. Rosa hat beim zweiten Mal auch die Bläschen im Dunkeln gezählt und kam auf fünf Bläschen, Anna hat auch Bläschen gezählt und kam auf 50. Die beiden streiten sich, weil Rosa meint, dass das nicht stimmen kann und Anna falsch gezählt hat. Anna besteht auf ihr Ergebnis. Darauf Rosa zu mir: Jetzt waren's noch fünf, aber wenn es ganz dunkel wäre, dann wären Null Bläschen aufgestiegen, aber dann ist es zu dunkel zum Zählen.*

In der roten Gruppe wurde die Sauerstoffproduktion also bei drei verschiedenen Lichtverhältnissen getestet (Abbildung 42). Dabei verwendeten sie aber immer Mineralwasser, änderten also nur den Faktor Licht.



Abbildung 42: Verschiedene Versuchsanordnungen zum Messen der Sauerstoffproduktion bei Dunkelheit und Licht

Die anderen Gruppen in dieser Klasse testeten die Sauerstoffproduktion nur bei zwei verschiedenen Lichtverhältnissen: einmal im Schuhkarton und einmal außerhalb des Kartons. Auch sie verwendeten Mineralwasser, wobei sie auch dieselbe Pflanze verwendeten, was bei der roten Gruppe nicht der Fall war.

Trotz der gleichen oder ähnlichen Vorgehensweisen kamen die Gruppen aber zu verschiedenen Ergebnissen bzw. Schlussfolgerungen. In der roten Gruppe setzte sich schließlich doch Rosa durch. Die Schülerinnen dieser Gruppe waren vor dem Experiment der Meinung, dass Antonia Recht hat und kreuzten das auch auf dem Arbeitsblatt an. Durch das Experiment änderten sie jedoch ihre Meinung, radierten das Kreuz bei Antonia aus und machten es bei Christian. Die Unterrichtsmaterialien sind so gestaltet, dass die SchülerInnen ihre Meinungen auch immer begründen müssen. Die Begründung der roten Gruppe lautet, dass Pflanzen in der Nacht keinen Sauerstoff produzieren, also Christian Recht hat, weil bei dem Experiment im Dunkeln keine Bläschen aufsteigen (Abbildung 43).

Wer von den drei Freunden hat Recht?

Wir glauben dass Christian Recht hat, weil es steigen keine Bläschen in der Dunkelheit auf.

Abbildung 43: Begründung einer Schülerin, die der Meinung war, dass Christian Recht hat

Alle anderen Gruppen glauben, dass Antonia Recht hat. Auch Rob, der vor dem Experiment der Meinung war, dass Christian Recht hat, änderte seine Meinung. Ich machte folgende Notiz in meinem Forschungstagebuch:

*Rob argumentiert, dass Antonia Recht hat, wie folgt: im Dunkeln steigen gleich viele Bläschen auf wie im Hellen, nur sind die Bläschen, die im Dunkeln aufsteigen, kleiner als die im Hellen. Er war vor dem Experiment noch der Meinung, dass er eh weiß, dass die Pflanzen im Dunkeln keinen Sauerstoff produzieren, da er aber jetzt beim Experiment selbst mit eigenen Augen gesehen hat, dass auch im Dunkeln Bläschen aufsteigen, hat er seine Meinung geändert.*

Bei allen SchülerInnen sind im Dunkeln weniger oder kleinere Bläschen aufgestiegen als bei normalem Licht. Daraus schließen die meisten SchülerInnen logischerweise, dass die Pflanzen auch im Dunkeln Sauerstoff produzieren, wenn auch weniger und somit Antonia Recht hat (Abbildung 44).

Wer von den drei Freunden hat Recht?

Wir glauben dass Antonia Recht hat, weil Pflanzen bei Tag und bei Nacht Sauerstoff produzieren.  
(Am Tag 17 Bläschen (in der Nacht 13 Bläschen))

Abbildung 44: Begründung einer Schülerin, die der Meinung war, dass Antonia Recht hat

Frau Maier diskutiert mit den SchülerInnen die jeweiligen Begründungen der Gruppen. Da nur die rote Gruppe der Meinung ist, dass Christian Recht hat, beginnen einige Schülerinnen dieser Gruppe daran zu zweifeln und eine Schülerin der roten Gruppe sagt, sie weiß es nicht ganz genau, Christian oder Antonia. Rosa bleibt aber bei ihrer Meinung, dass Christian recht hat.

Frau Maier sagt, dass die SchülerInnen die Reagenzgläser mit der Wasserpest in die Reagenzglashalterung stellen sollen, die Reagenzglasalterung in den Karton und den Karton in eine Ecke des Klassenzimmers. Sobald der Karton jeder Gruppe dort ist, gibt sie ein dunkles Tuch über die Schachteln und sagt, dass sie das Experiment morgen

auflösen wird. Nach der Stunde kommen einige SchülerInnen zu mir und fragen, wer denn nun Recht hat. Ein Schüler meint:

*Ich bin mir auch nicht mehr sicher und möchte jetzt wirklich wissen, wer Recht hat.*

Die nächste Einheit beginnt mit der Lösung der Frage, ob die Pflanze Licht für die Sauerstoffproduktion braucht oder nicht. Frau Maier nimmt das schwarze Tuch weg und jede Gruppe bekommt ihre Schachtel. Bei keiner einzigen Gruppe steigen Sauerstoffbläschen auf. Frau Maier schrieb Folgendes in ihr Projekttagbuch:

*Nachdem es nicht ganz klar war, wer Recht hat, wurde der Versuch (Schachteln unter schwarzem Tuch) am nächsten Tag ganz am Anfang aufgelöst und besprochen. Eine Schülerin meinte, dass sie „über Nacht“ zur Erkenntnis gekommen ist, dass Christian Recht hat. Der Versuch hat nun alle überzeugt. Hier am fünften Tag merkt man, dass die SchülerInnen ein zusammenhängendes Denken entwickeln. Sie können die vorhergehenden Erkenntnisse zusammenfügen. Es macht ihnen großen Spaß.*

Die SchülerInnen konnten sich durch den Versuch überzeugen, dass im Dunkeln kein Sauerstoff produziert wird. Einige SchülerInnen sind ein wenig enttäuscht, weil ihre eigene Vorhersage nicht zutraf. Bei einigen SchülerInnen entstehen durch dieses Experiment neue Fragen. Warum können wir auch in der Nacht atmen? Was ist eigentlich in der Wüste, wo es keine Pflanzen gibt? Diese Fragen wurden dann in Modul 5 mit den SchülerInnen besprochen und die Rolle des Regenwaldes und der Meeresalgen, welche riesige Mengen an Sauerstoff produzieren, wurden erarbeitet. Die Fragen der SchülerInnen wurden auch in die Weiterentwicklung und Verbesserung der Unterrichtsmaterialien miteinbezogen.

Dieses Modul war eines von zehn forschend-begründenden Modulen. In einigen Modulen (Modul 1, 2 und 4) hatten die SchülerInnen die Möglichkeit, selbständig Experimente zu planen, durchzuführen und zu evaluieren. In einem anderen Modul (Modul 3) wurde ein historisches Experiment nachvollzogen und die SchülerInnen trafen Voraussagen über den Ausgang des Experiments und begründeten ihre Meinungen auch. In einem weiteren Modul (Modul 6) brachten die SchülerInnen eine Bildgeschichte zu einem Experiment in die richtige Reihenfolge und überlegten dann, was man mit eben diesem Experiment rausgefunden hat. Die Module im botanischen Garten wiederum setzten sehr viel auf die Primärerfahrungen, die man in einem botanischen Garten machen kann. Die SchülerInnen untersuchten Pflanzen und führten Experimente durch, die in der Schule nur schwer durchführbar sind. Welche Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens die SchülerInnen im Laufe des Projektes angewendet haben, wird anhand der oben beschriebenen Fallstudie und anderer Beobachtungen auf den folgenden Seiten diskutiert.

#### **5.4.3.2 Verwendete Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens**

Ziel wissenschaftlichen Arbeitens ist das Aufstellen von Behauptungen und das Anführen von Argumenten, welche diese Behauptung unterstützen, verteidigen und aufrechterhalten. Diese Argumente werden in den Naturwissenschaften unter anderem durch Experimente generiert.

Wenn im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Volksschule experimentiert wird, besteht die Gefahr, dass das Experimentieren an sich in den Mittelpunkt gerückt wird und dabei das eigentliche Ziel des wissenschaftlichen Arbeitens, nämlich das Ziehen von Schlussfolgerungen und das wissenschaftliche Argumentieren, ein wenig aus den Augen verloren wird.

Der Anspruch der erstellten forschend-begründenden Unterrichtsmaterialien ist es, das aktive Experimentieren (*hands-on*), welches zu einer hohen Lernmotivation bei den SchülerInnen führt, mit dem Prozess des wissenschaftlichen Argumentierens (*minds-on*) zu verknüpfen. Denn sowohl das selbständige Forschen als auch das selbständige Argumentieren und Begründen sind essentiell in einem Naturwissenschaftsunterricht, der neben Sachkompetenz auch ein Verständnis für die wissenschaftliche Arbeitsweise vermitteln will und somit Schritte in Richtung eines naturwissenschaftlichen Grundverständnisses (*scientific literacy*) setzen will (Newton et al. 1999, Abd-El-Khalick et al. 1998). Schauen wir uns die beschriebene Fallstudie unter diesem Anspruch genauer an.

Nach der Stundenwiederholung ist es Frau Maier, die die erste Fragestellung definiert. Sie schreibt folgende Frage auf die Tafel: „Braucht eine Pflanze Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren?“. Anschließend erklärt sie die Materialien, die die SchülerInnen zur Verfügung haben, um diese Frage zu beantworten. Nachdem sie die Materialien und das Arbeitsblatt ausgeteilt hat, beginnen die meisten SchülerInnen sofort, das Experiment zu planen. Sie füllen Mineralwasser, Leitungswasser und destilliertes Wasser in die Reagenzgläser und geben die Wasserpest hinzu. Die rosa Gruppe weiß nicht genau, was sie machen muss und macht erstmals gar nichts. Interessant ist, dass keine einzige Gruppe vor dem Experimentieren eine Hypothese oder eine Vermutung aufstellt. Stattdessen beginnen sie gleich mit der Planung und Durchführung des Experimentes. Bei der Planung und Durchführung des Experimentes haben die meisten Gruppen keine Probleme. Dies liegt sicherlich auch daran, dass alle benötigten Materialien zur Verfügung gestellt und zuvor erklärt wurden. Die SchülerInnen zählen, wie viele Bläschen pro Minute in den drei verschiedenen Reagenzgläsern aufsteigen und notieren ihre Ergebnisse. Fast alle Gruppen wiederholen diesen Prozess drei, vier Mal. Mit Hilfe von Frau Maier hat nun auch die rosa Gruppe begonnen, das Experiment zu planen und auch diese Gruppe ist fleißig am Zählen der Bläschen. Die SchülerInnen arbeiten selbständig in Kleingruppen. Dies ermöglicht es Frau Maier, sich mehr um diejenigen SchülerInnen zu kümmern, die mit der Planung des Experimentes offensichtlich überfordert sind. Durch gezieltes Fragen, was man machen könnte, durch das Geben von Tipps werden auch die SchülerInnen in der schwächeren Gruppe zum selbständigen Problemlösen hingeführt. Durch das unterschiedliche Ausmaß an Unterstützung vonseiten der Lehrerin kommt es zu einer inneren Differenzierung. Bei schwächeren Gruppen gibt Frau Maier mehr Tipps, sehr gute Gruppen arbeiten ohne die Unterstützung.

Die rote Gruppe ist schneller fertig als die anderen Gruppen. Während des Experimentierens sind bei dieser Gruppe jedoch neue Fragen aufgekommen. Wie schaut die Sauerstoffproduktion bei verschiedenen Lichtverhältnissen aus? Ohne Input vonseiten der Lehrerin beginnen sie, ein Experiment zu dieser Frage zu planen und messen die Sauerstoffproduktion einmal bei geschlossenem und einmal bei offenem Vorhang. Sie identifizieren also unterschiedliche Faktoren, die die Sauerstoffproduktion beeinflussen können und testen den Einfluss dieser Faktoren bei ihren Experimenten getrennt voneinander. Zuerst vergleichen sie die Sauerstoffproduktion der Pflanzen in Flüssigkeiten mit unterschiedlichem Kohlendioxidgehalt (destilliertes Wasser, Leitungswasser, Mineralwasser) und bei gleichen Lichtverhältnissen („Raumlicht“). Danach testen sie bei zwei unterschiedlichen Lichtverhältnissen, wobei sie den Kohlendioxidgehalt jedoch berücksichtigen. Sie vergleichen die Sauerstoffproduktion in destilliertem Wasser bei offenem und geschlossenem Vorhang, die Sauerstoffproduktion in Leitungswasser bei offenem und geschlossenem Vorhang und die Sauerstoffproduktion in Mineralwasser bei offenem und geschlossenem Vorhang. Es ist den SchülerInnen bewusst, dass es keinen Sinn machen würde die Sauerstoffproduktion in Mineralwasser bei geschlossenem Vorhang mit der Sauerstoffproduktion in Leitungswasser bei offenem Fenster zu vergleichen. Selbständig experimentieren sie genau richtig und ändern jeweils nur einen Faktor, der die Sauerstoffproduktion beeinflussen kann. Die Ergebnisse

notieren sie auf dem Arbeitsblatt und sie zeichnen den Versuchsaufbau auf (Abbildung 41).

Bei der gemeinsamen Diskussion zeigt sich, dass alle SchülerInnen die Forschungsfrage „Braucht eine Pflanze Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren?“ richtig beantworten können. Die Begründungen sind jedoch unterschiedlich. Einige SchülerInnen sagen korrekterweise, dass bei destilliertem Wasser kein Sauerstoff gebildet wurde, was zeigt, dass Kohlendioxid notwendig ist, um Sauerstoff zu produzieren. Einige SchülerInnen sagen aber, dass bei Mineralwasser am meisten Bläschen gebildet wurden und deshalb bewiesen werden konnte, dass Pflanzen Kohlendioxid benötigen, um Sauerstoff zu bilden. Dieser Schluss ist eigentlich nicht richtig. Nur weil bei kohlendioxidhaltigem Mineralwasser viel Sauerstoff gebildet wurde, kann man nicht darauf schließen, dass Kohlendioxid für die Sauerstoffproduktion notwendig ist. Dass bei kohlendioxidfreiem destilliertem Wasser jedoch keine Bläschen gebildet wurden, lässt im Vergleich mit den anderen zwei Flüssigkeiten den Schluss zu, dass Kohlendioxid für die Sauerstoffproduktion notwendig ist. Diese Unterscheidung wurde von Frau Maier jedoch nicht mit den SchülerInnen diskutiert. Die SchülerInnen sind zwar in der Lage, ihre Aussage, dass Kohlendioxid für die Sauerstoffproduktion notwendig ist, mit den Beobachtungen aus dem Experiment zu untermauern. Die Argumente einiger SchülerInnen belegen ihre richtige Aussage jedoch nicht eindeutig. Diese Unterscheidung ist mir sehr wichtig. Es geht bei den erstellten Unterrichtsmaterialien nämlich nicht nur darum, eine korrekte Aussage zu treffen (Pflanzen brauchen Kohlendioxid für die Sauerstoffproduktion), sondern auch darum, schlüssige Argumente für diese Aussage auf der Basis eigener Experimente nennen zu können. Einige SchülerInnen argumentierten auch richtig, einige jedoch nicht. Hier wäre es gut gewesen, wenn Frau Maier die einzelnen Begründungen mit den SchülerInnen diskutiert hätte. Mit dem Ergebnis, dass eigentlich nur aufgrund der Begründung „Pflanzen produzieren in kohlendioxidfreiem, destilliertem Wasser keinen Sauerstoff“ die Aussage „Pflanzen benötigen Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren“ belegt werden kann.

Nach der Diskussion der Ergebnisse teilt Frau Maier den *concept cartoon* aus. Die SchülerInnen beginnen sofort zu diskutieren und geben ihre Meinung ab. Die meisten SchülerInnen glauben, dass Antonia Recht hat. Während die SchülerInnen beim letzten Versuch sofort mit dem Experimentieren begonnen haben, stellten die SchülerInnen durch die Verwendung des *concept cartoons* sofort ihre eigenen Vorhersagen bzw. Hypothesen auf und diskutierten diese Begründungen in der Gruppe. Dazu verwendeten sie auch Argumente, wie z.B. dass man in der Nacht atmen könne, wenn die Pflanzen nur bei Tageslicht Sauerstoff produzieren. Die Verwendung von *concept cartoons* ist eine sehr geeignete Methode, um junge Lernende zu motivieren, Vorhersagen zu treffen und diese Vorhersagen in der Gruppe zu diskutieren. Nachdem die Vorhersagen getroffen worden sind, beginnen die SchülerInnen wieder mit dem Experimentieren. Die zur Verfügung gestellten Kartons dienen der Abdunkelung. Während die meisten Gruppen die Sauerstoffproduktion im Dunkeln und bei „Raumlicht“ messen, misst die rote Gruppe bei drei unterschiedlichen Lichtintensitäten: Licht, „Mittellicht“ und Dunkel. Alle Gruppen gehen wissenschaftlich korrekt vor. Sie konzentrieren sich auf den Faktor Licht und halten die anderen Faktoren konstant. Alle Gruppen verwenden die Wasserpest im Reagenzglas mit Mineralwasser, um den Einfluss unterschiedlicher Lichtverhältnisse zu überprüfen.

Die Ergebnisse sind bei den verschiedenen Gruppen ähnlich. Bei allen Gruppen wird bei der abgedunkelten Wasserpest weniger Sauerstoff gebildet als bei der „belichteten“ Wasserpest. Dieses Ergebnis führt jedoch bei den einzelnen Gruppen zu unterschiedlichen Aussagen. Während vier Gruppen der Meinung sind, dass Antonia Recht hat, dass also sowohl in der Nacht als auch am Tag Sauerstoff gebildet wird, ist die rote Gruppe der Meinung, dass Christian Recht hat, dass also nur bei Sonnenschein Sauerstoff gebildet wird. Rob, der noch vor dem Experiment der Meinung war, dass Christian Recht hat, änderte aufgrund seiner Beobachtung, dass auch im Dunkeln Bläschen aufgestiegen sind, seine Meinung. Auch bei der roten Gruppe stiegen im

Dunkeln noch fünf Bläschen auf. Rosa, die schon vor dem Experiment der Meinung war, dass Licht für die Sauerstoffproduktion notwendig ist, überzeugte ihre MitschülerInnen mit dem Argument, dass es im Dunkeln viel weniger Bläschen sind und dass, wenn es ganz dunkel wäre, sicherlich keine Bläschen mehr aufsteigen würden. Ihre Argumente überzeugten die Mädchen aus ihrer Gruppe und sie änderten ihre Vorhersage. Denn auch in dieser Gruppe waren vor dem Experiment alle außer Rosa der Meinung, dass Antonia Recht hat.

Interessant ist auch, dass sich die Begründungen der SchülerInnen änderten. Auch wenn die SchülerInnen ihre Meinung nicht änderten und immer noch behaupteten, dass Antonia Recht hat, änderten sich ihre Begründungen. Die Hauptbegründung vor dem Experiment war, dass wir auch in der Nacht Sauerstoff benötigen und deshalb Antonia Recht hat. Die Begründungen basierten also auf den eigenen Vorstellungen und Meinungen der SchülerInnen. Nach dem Experiment basierten die Begründungen auf den eigenen Experimenten und Beobachtungen der SchülerInnen. Die meisten Gruppen behaupteten, dass Antonia Recht hat, weil auch im Dunkeln Sauerstoffbläschen aufgestiegen sind (Abbildung 44).

Am Ende der Stunde diskutiert Frau Maier im Plenum mit den SchülerInnen, was die einzelnen Gruppen herausgefunden haben. Auch die Begründungen der SchülerInnen werden diskutiert. Dadurch, dass es in der Klasse zwei verschiedene Meinungen gibt und Frau Maier nicht sagt, wer nun Recht hat, entsteht noch mehr Spannung bei den SchülerInnen. Die Kartons mit der Wasserpest werden in eine Ecke gestellt, mit einer schwarzen Decke zugedeckt und erst am nächsten Morgen wird das „Geheimnis“ gelüftet.

Am nächsten Tag startet Frau Maier die Stunde mit dem Experiment. Bei keiner einzigen Gruppe steigen Bläschen auf. Die SchülerInnen tragen auf dem Arbeitsblatt vom Vortag ein, dass doch Christian Recht hat und nicht Antonia. Durch die Unmittelbarkeit der Ergebnisse sind nun auch die SchülerInnen, die gestern noch überzeugt waren, dass die Pflanzen in der Nacht und am Tag Sauerstoff produzieren, anderer Meinung. Unmittelbar nach dem Projekt sind 89% der SchülerInnen der Meinung, dass Pflanzen nur bei Licht Fotosynthese betreiben, fünf Monate nach dem Projekt sind immer noch 79% dieser Meinung (Abbildung 36) und das obwohl ein Großteil der SchülerInnen (auch in den anderen Klassen) beim Diskutieren des *concept cartoons* der Meinung war, dass Pflanzen sowohl in der Nacht als auch bei Tag Sauerstoff produzieren.

Die zwei Experimente mit der Wasserpest waren eigentlich recht ähnlich. In beiden Experimenten zählten die SchülerInnen aufsteigende Sauerstoffbläschen, um zu bestimmen ob i) Kohlendioxid oder ii) Licht notwendig ist, um Sauerstoff zu produzieren. Die Herangehensweise war jedoch eine unterschiedliche. Beim Experiment zur Bedeutung des Kohlendioxids schrieb die Lehrerin die Forschungsfrage an die Tafel. Die SchülerInnen experimentierten eifrig, die Daten wurden auch richtig interpretiert und die meisten SchülerInnen wussten am Ende, dass Kohlendioxid notwendig ist, um Sauerstoff zu produzieren. Die SchülerInnen konzentrierten sich sehr stark auf das Experiment, es wurden jedoch weder Vorhersagen getroffen, noch wurden die Ergebnisse ausführlich in der Gruppe diskutiert. Das Experiment zum Faktor Licht startete mit dem *concept cartoon*. Durch diesen Input, durch die drei unterschiedlichen Meinungen, begannen die SchülerInnen bereits vor dem Versuch zu diskutieren, wer Recht haben könnte, trafen Vorhersagen, formulierten Hypothesen und begründeten diese („Ich glaube, Antonia hat Recht, weil sonst könnten wir in der Nacht nicht atmen“). Das eigentliche Experiment verlief ähnlich wie das Experiment zum Faktor Kohlendioxid. Die Interpretation und Diskussion der Daten war jedoch viel emotionsgeladener als die Interpretation des ersten Experiments, da verschiedene Meinungen in der Klasse vorherrschten und beide Meinungen auch rational begründet wurden (Abbildung 43 und Abbildung 44). Während das Auf-die-Tafel-Schreiben der Forschungsfrage die SchülerInnen zwar zu selbständigem Suchen nach Lösungen motivierte, entstand durch die Verwendung des

*concept cartoons* eine ganz andere Dynamik. Die SchülerInnen wurden neben dem Suchen nach Lösungen auch zum Treffen von Vorhersagen, Diskutieren und Argumentieren ermutigt. Laut Naylor et al. (2001) sprechen folgende Faktoren für die Verwendung von *concept cartoons* im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Volksschule:

- Sie fördern die Fähigkeit zu argumentieren, da unterschiedliche Lösungen angeboten werden.
- Sie erzeugen einen kognitiven Konflikt, da für die Lernenden mehrere der angebotenen Antwortmöglichkeiten plausibel erscheinen.
- Sie motivieren die Lernenden, unterschiedliche Standpunkte abzuwägen.
- Sie erzeugen die Notwendigkeit, Begründungen zu liefern, die einerseits auf Fakten basieren und andererseits weitergehen als die simplen Dialoge innerhalb des *concept cartoons*.

Alle von Naylor et al. (2001) präsentierten Stärken von *concept cartoons* konnten auch im Unterricht beobachtet werden.

*Concept cartoons* sind eine Möglichkeit, wie man Diskussion und Argumentation in der Gruppe anregen kann. Eine andere Möglichkeit ist „Vorhersagen – Beobachten – Begründen“, welche in Modul 1 angewendet wurde. Die SchülerInnen mussten sich in der Gruppe einigen, was mit einer Kerze passiert, wenn sie zugedeckt wird und ihre Meinung auch begründen. Erst nachdem sich die SchülerInnen in der Gruppe auf eine Meinung samt Begründung geeinigt hatten, durften sie das Experiment auch durchführen und ihre Vorhersage mit dem tatsächlichen Ergebnis vergleichen.

Methoden wie „Vorhersagen - Beobachten - Begründen“ (Osborne 2001) oder *Concept Cartoons* (Keogh und Naylor 1998) bieten den SchülerInnen die Möglichkeit, zu diskutieren, zu argumentieren und den Prozess des naturwissenschaftlichen Begründens zu erproben. Begründungen aufzuschreiben ist jedoch ebenfalls essentiell, um die Fähigkeit, wissenschaftlich zu begründen, zu fördern. Sobald die SchülerInnen ihre eigenen Voraussagen oder Behauptungen schriftlich begründen müssen, beginnen sie, über exakte Formulierungen nachzudenken (Osborne et al. 2004). Um diesen Prozess zu unterstützen, sind in allen Modulen Schreibvorlagen enthalten, die den Prozess des Begründens erleichtern.

In Modul 1 erforschten die SchülerInnen, ob sich der Sauerstoffgehalt in der Ausatemungsluft und der Umgebungsluft unterscheidet. In einem ersten Versuch fanden die SchülerInnen heraus, dass eine Kerze Sauerstoff zum Brennen braucht. In einem zweiten Versuch fanden sie heraus, dass Ausatemungsluft weniger Sauerstoff als Umgebungsluft enthalten muss, da eine Kerze in einem Gefäß mit Ausatemungsluft wesentlich kürzer brennt als in einem Gefäß mit Umgebungsluft. Die SchülerInnen begründeten ihre Meinung durch das Formulieren eines „Weil-Satzes“ (Abbildung 45).

Ist in der ausgeatmeten Luft weniger, gleich viel oder mehr Sauerstoff als in der Luft, die wir einatmen?

A: Weniger Sauerstoff

B: Gleich viel Sauerstoff

C: Mehr Sauerstoff

Ich glaube Antwort A ist richtig, weil die Flamme schneller ausgegangen ist.

Abbildung 45: Ausgefüllte Schreibvorlage in Modul 1

In Modul 2 prüften die SchülerInnen, ob in der Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid enthalten ist als in der Umgebungsluft. Während sich eine mit Indikatorlösung rosa eingefärbte leicht basische Flüssigkeit sehr schnell entfärbte, wenn Ausatemungsluft in diese Flüssigkeit geblasen wurde ( $\text{CO}_2$  der Ausatemungsluft neutralisiert die leicht basische Flüssigkeit und der Indikator, der nur im basischen Bereich rosa ist, entfärbt sich), veränderte sich die Flüssigkeit kaum, als Umgebungsluft in diese Flüssigkeit gepumpt wurde. Die SchülerInnen notierten jedoch nicht nur, was mit der Flüssigkeit passiert, wenn man Umgebungsluft rein pumpt, sondern auch, warum das Beobachtete passiert (Abbildung 46).

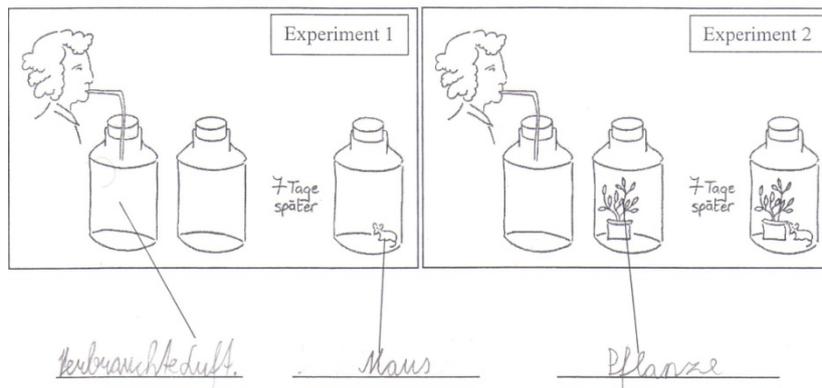
8. Pumpe Umgebungsluft in Gefäß 2  
9. Schreibe auf was passiert und WARUM es passiert

**Was?** Es hat sich lang nicht verändert, doch dann ist es ein bisschen heller geworden

**Warum?** Weil in der Einatemungsluft weniger Kohlendioxid ist als in der Ausatemungsluft

Abbildung 46: Ausgefüllte Schreibvorlage in Modul 2

In Modul 3 sollten die SchülerInnen Vorhersagen treffen, was mit einer Maus passiert, die in ein Gefäß mit Ausatemungsluft gesetzt wird und was mit einer Maus passiert, die in ein Gefäß mit Ausatemungsluft gesetzt wird, in der sich zuvor sieben Tage eine Pflanze befand. Ihre Vorhersagen sollten die SchülerInnen auch begründen, indem sie auf die Frage „Warum glaubst du passiert das?“ antworteten (Abbildung 47).



Beschriftete Priestley's Experiment

Was glaubst du passiert mit der Maus in Experiment 1?

Die Maus stirbt. Aber sie hat gute Dienste geleistet und ist deshalb befreit.

Warum glaubst du passiert das?

Weil die Maus zu wenig Sauerstoff und zu viel Kohlendioxid einatmet.

Was glaubst du passiert mit der Maus in Experiment 2?

Sie lebt weiter und sie wird auch befreit.

Warum glaubst du passiert das?

Weil sie <sup>wegen der Pflanze</sup> genug Sauerstoff hat.

Abbildung 47: Ausgefüllte Schreibvorlage in Modul 3

In Modul 4, den Versuchen mit der Wasserpest, formulierten die SchülerInnen ihre Erklärungen in Form von „Weil-Sätzen“ (Ich glaube, \_\_\_\_\_ hat Recht, weil....) (Abbildung 44).

In Modul 6 fanden die SchülerInnen durch das Zusammensetzen und Nacherzählen einer Bildgeschichte heraus, dass sich Pflanzen nicht ausschließlich über die Erde ernähren können, eine Alternativvorstellung, die in der fachdidaktischen Literatur häufig beschrieben wird (Wandersee 1983, Wood-Robinson 1991, Leach et al. 1996, Marmaroti et al. 2006). Die Bildgeschichte orientiert sich an Johann von Helmont's historischem Experiment, in dem er eine Weide in einen Topf pflanzt und 5 Jahre lang wachsen lässt (4.3). Nach dem Zusammenfügen der Bildgeschichte sollten die SchülerInnen zwei Fragen beantworten. Einerseits, ob sich eine Pflanze ausschließlich von Erde ernähren kann (Sachkompetenz). Andererseits, wie das Mädchen im Cartoon beweisen konnte, dass sich eine Pflanze nicht ausschließlich von Erde ernähren kann (Methoden- und epistemologische Kompetenz) (Abbildung 48).

Schneidet die Bilder aus und bringt sie in die richtige Reihenfolge. Überlegt euch eine Geschichte über das, was Anja gemacht hat und beantwortet die zwei Fragen auf dieser Seite.

Ernährt sich eine Pflanze nur über den Boden?

- Ja                       Nein

Wie konnte Anja das beweisen?

Sie hat es rausgefunden indem sie den Topf mit der Erde gewogen  
1 mal davor und einmal danach.

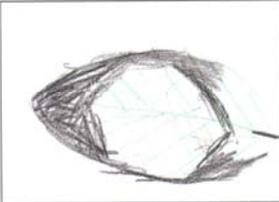
Abbildung 48: Ausgefüllte Schreibvorlage in Modul 6

Auch bei den Experimenten im Botanischen Garten mussten die SchülerInnen ihre Beobachtungen immer begründen (Abbildung 49). Im abgebildeten Beispiel sollten die SchülerInnen begründen, warum ein teilweise mit einem schwarzen Blatt bedecktes Papier an manchen Stellen keine Stärke bildet. Bei einer weiteren Frage sollten die SchülerInnen überlegen, was sie genau mit diesem Experiment beweisen konnten. Sie werden damit aufgefordert zu überlegen, warum sie das jeweilige Experiment überhaupt gemacht haben und welche Schlüsse sie daraus ziehen können.

Wie weiter oben bereits beschrieben, ist es ein Hauptziel der entwickelten Unterrichtsmaterialien, dass die SchülerInnen lernen, auf Basis ihrer eigenen Beobachtungen und Experimente Erklärungen für einen bestimmten Sachverhalt zu formulieren. Dem Prozess des wissenschaftlichen Begründens wird im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Volksschule, aber auch in der Sekundarstufe, oft zu wenig Bedeutung beigemessen. Der Prozess des wissenschaftlichen Begründens muss jedoch genauso gelernt und geübt werden, wie andere naturwissenschaftliche Fertigkeiten wie Pipettieren und Mikroskopieren gelernt und geübt werden müssen. Dazu wurden in den Unterrichtsmaterialien spezielle Schreibvorlagen verwendet, die das naturwissenschaftliche Begründen vereinfachen.

**Gruppe 2**

Macht mit einem mit einer Schablone abgedeckten Blatt den Stärkenachweis.  
Zeichnet in dem leeren Feld ein, an welchen Stellen in dem Blatt Stärke gebildet wurde.

An welchen Stellen wurde keine Stärke gebildet?

*In der Mitte!*

Warum wurde an diesen Stellen keine Stärke gebildet?

*weil das ist ein schwarzes Blatt auf den Stellen oben ist und die Pflanze braucht Licht um Stärke zu erzeugen*

Was konnten wir mit diesem Experiment beweisen?

*Das Pflanzen ohne Licht, keine Stärke erzeugen können*

Abbildung 49: Ausgefülltes Arbeitsblatt für ein Experiment im botanischen Garten

Die erhobenen Daten zeigen, dass 9-10jährige SchülerInnen in der Lage sind, ihre Meinung mit wissenschaftlichen Argumenten auf Basis der eigenen Beobachtungen zu untermauern. Die Beobachtungen zeigen, dass SchülerInnen sowohl Argumente verwenden, die einen bestimmten Sachverhalt eindeutig untermauern (in kohlendioxidfreiem Wasser produzieren Pflanzen keinen Sauerstoff → Pflanzen brauchen Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren) als auch Argumente, aus denen man aus naturwissenschaftlicher Sicht nicht eindeutig auf einen bestimmten Sachverhalt schließen kann (in kohlendioxidreichem Wasser produzieren Pflanzen viel Sauerstoff → Pflanzen brauchen Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren). Die erstellten Unterrichtsmaterialien sind so konzipiert, dass die SchülerInnen ihre Aussagen immer begründen müssen. Größtenteils basierten diese Begründungen auf Daten, die die SchülerInnen experimentell erhoben hatten. Bei entsprechender Strukturierung von Lehr-Lern-Einheiten, sind 9-10 jährige SchülerInnen in der Lage, zu verstehen, welche Argumente für einen bestimmten Sachverhalt sprechen und welche dagegen.

Neben dem selbständigen Planen und Durchführen von Experimenten, dem Interpretieren von Daten und dem wissenschaftlichen Begründen, hatten die SchülerInnen beim Arbeiten mit den Unterrichtsmaterialien auch die Möglichkeit, naturwissenschaftliche Fertigkeiten wie Pipettieren oder Mikroskopieren zu erproben. Es wurde mit Chemikalien gearbeitet und die entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen wurden mit den SchülerInnen besprochen. Nach jeder Einheit sollten die SchülerInnen zwei Dinge aufschreiben, die sie in dieser Einheit herausgefunden haben. Nach Modul 2, in dem die SchülerInnen mit Pipetten und Chemikalien gearbeitet hatten, notierte eine Schülerin folgendes auf ihrem Arbeitsblatt (Abbildung 50).

2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe:

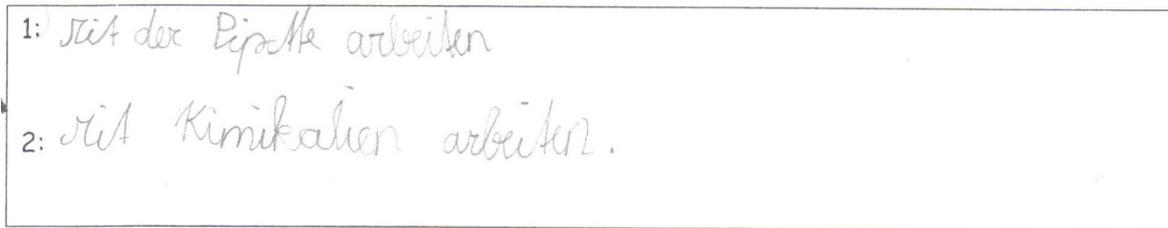


Abbildung 50: 2 Dinge, die eine Schülerin in Modul zwei gelernt hat

Der Ansatz, den die Unterrichtsmaterialien verfolgen ist ein integrativer, einer der *hands-on* und *minds-on* miteinander verbindet. Den SchülerInnen soll die Möglichkeit gegeben werden, aktiv zu forschen. Selbständiges Forschen in der Volksschule soll dabei nicht nur ein reflexiver Prozess vom Generieren einer Fragestellung bis hin zum Interpretieren der Daten sein, sondern soll vor allem auch Spaß machen. Selbständiges Forschen soll aber auch Denkprozesse anregen, die zur Erklärung verschiedener Phänomene vonseiten der SchülerInnen führen. Um dieses Ziel zu erreichen, muss der Unterricht offen genug sein, um selbständiges Experimentieren und Problemlösen in Kleingruppen zuzulassen und gleichzeitig so strukturiert, dass den SchülerInnen der Sinn ihrer Tuns immer bewusst ist.

Zusammenfassend bleibt zu klären, welche Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens die SchülerInnen beim Arbeiten mit den Materialien anwenden. Wissenschaftliches Arbeiten in den Naturwissenschaften wird als Prozess mit folgenden Faktoren definiert (White und Fredriksen 1998, Sandoval und Reiser 2004):

- Fragen generieren, die naturwissenschaftlich beantwortet werden können
- Sammeln von Daten durch systematische Beobachtung oder Experimente
- Interpretieren von Daten
- Ziehen von auf den Daten fußenden Schlussfolgerungen

Die erstellten Unterrichtsmaterialien konzentrieren sich besonders auf die drei letzten Faktoren. Das selbständige Generieren von Fragen ist kein explizites Ziel der Unterrichtsmaterialien. Durch die forschende Arbeitsweise wurde selbständiges Denken der SchülerInnen jedoch gefordert und gefördert. Und es kamen auch von den SchülerInnen immer wieder Fragen, auf die die LehrerInnen teilweise eingingen. Eine Lehrerin notierte folgendes in ihrem Projekttagbuch.

*Schon am Morgen an der Bushaltestelle redet mich Vera auf das Projekt an: „Eva, ich hab eine wissenschaftliche Frage! Wie kann das denn funktionieren mit dem Sauerstoff? Was ist denn dann im Winter?“ So viel Leidenschaft und Wissensdurst! Unsere ganze Busfahrt vergeht über Diskussionen, Mutmaßungen, Staunen über das Wunder Baum. Welch ein Geschenk, mit den Kindern so arbeiten zu können.*

Dieselbe Lehrerin schrieb:

*Nach dem Besprechen von Priestley's Experiment tauchen neue Fragen auf und es entsteht ein neues Experiment. „Wie lange überlebt denn eine Pflanze mit der Ausatemluft von Jakob?“. Wir geben der Pflanze eine Woche.*

Das eigenständige Sammeln von Daten durch Experimentieren oder systematische Beobachtung wird in den Modulen 1, 2, 4, 8 und 9 gefördert. In Modul 1 messen die SchülerInnen wie lange eine Kerze in einem Gefäß mit Umgebungsluft und in einem Gefäß mit Ausatemluft brennt und vergleichen die Messwerte (Abbildung 7). In Modul

2 arbeiten die SchülerInnen mit Pipetten und Chemikalien. Sie erstellen zwei idente chemische Lösungen. In eine Lösung blasen sie über einen Strohhalm Ausatemluft, in die zweite Lösung versuchen sie Umgebungsluft zu bekommen. Die Frage, wie ich Umgebungsluft in eine Flüssigkeit bekomme, fördert die Problemlösungsfähigkeit der SchülerInnen (Abbildung 8). In Modul 4 zählen die SchülerInnen, wie viele Sauerstoffbläschen pro Minute von einem Wasserpestspross gebildet werden und testen, welchen Einfluss die Faktoren Kohlendioxid und Lichtintensität haben (Abbildung 10). Auch bei diesem Experiment messen die SchülerInnen und vergleichen die Ergebnisse. Erstaunlicherweise isolieren die meisten SchülerInnen beim Planen der Experimente intuitiv die einzelnen Faktoren, die die Sauerstoffproduktion beeinflussen. In keinem einzigen Fall habe ich beobachtet, dass eine Gruppe zwei Faktoren gleichzeitig änderte, z.B. die Sauerstoffproduktion in Mineralwasser und Dunkelheit mit der Sauerstoffproduktion in Leitungswasser bei Licht verglich. Es scheint, dass den SchülerInnen bereits in der Volksschule die elementarsten Regeln wissenschaftlichen Arbeitens intuitiv bewusst sind, auch wenn sie diese elementarsten Regeln möglicherweise gar nicht in Worte fassen können. In den Modulen im Botanischen Garten haben die SchülerInnen viele Möglichkeiten systematisch zu beobachten. In Modul 8 machen die SchülerInnen Stärkenachweise in panaschierten und teilweise abgedeckten Blättern und ziehen aus den Ergebnissen ihre eigenen Schlüsse über die Bedeutung des Faktors Licht und des Faktors Blattgrün für die Stärkeproduktion in Blättern. Zudem wird Blattgrün in roten Blättern isoliert und somit die Frage beantwortet, warum auch Pflanzen mit roten Blättern Fotosynthese betreiben können, obwohl Blattgrün für diesen Prozess notwendig ist (Abbildung 13). In Modul 9 untersuchen die SchülerInnen mit Lupen die Wasserleitgefäße verschiedener Pflanzen im Botanischen Garten, sie isolieren die Leitgefäße in Blättern und betrachten diese unter dem Mikroskop (Abbildung 14). Auf die Frage nach den entwickelten methodischen Kompetenzen meinte eine Lehrerin im Interview nach dem Projektunterricht.

*Ja, es war am Anfang, wenn man von Experimenten geredet hat, ganz oft das Gefühl, da muss was explodieren, es muss was passieren. Genaues Beobachten hat ihnen Schwierigkeiten bereitet und auf Basis der eigenen Beobachtungen dann auch eine Erklärung finden. Im Botanischen Garten war das dann schon anders. Da ist dann wirklich beobachtet worden, gerade auch bei dem Experiment, das nicht hingehaut hat. Dann, hmm, jetzt ... was? Was sehe ich? Ich sehe es nicht. Also das Gefühl habe ich stark gehabt, dass sie gelernt haben, genauer hinzuschauen.*

Die Fähigkeit, Daten zu interpretieren und auf Basis der Daten Schlussfolgerungen zu ziehen, ist ein zentrales Anliegen der erstellten Unterrichtsmaterialien und wird in allen Modulen verfolgt. Egal ob die SchülerInnen selbständig experimentierten oder beobachteten (Modul 1,2,4,8 und 9) oder historische Experimente nachvollzogen (Modul 3 und 6), immer waren die erhobenen Daten der Ausgangspunkt für Erklärungen und Schlussfolgerungen von Seiten der SchülerInnen. Für eine Lehrerin ist genau das die Stärke der erstellten Unterrichtsmaterialien.

*Also das habe ich schon beobachtet, dass das am ersten Tag ein fast unlösbares Problem war, sich da selber was dazu zu denken von dem, was man selber gesehen hat. Und das sich das entscheidend geändert hat im Laufe des Projekts. Das ist für mich eigentlich der Hauptgewinn, der rausschaut. Ich sehe was, und dann kann ich mir überlegen, was das bedeutet, was ich sehe. Ich habe sicher das Gefühl, dass es da eine Entwicklung gab von „ich sehe was und dann frage ich die Lehrerin, was soll ich schreiben“ zu „ich sehe was und ich denke mir selber was dazu und das versuche ich dann aufzuschreiben“. Also das war für mich offensichtlich. Eigentlich schon, das ist für mich der Hauptgewinn, der bei dem Projekt herauschaut.*

Auf die Frage, ob das Projekt gut gelaufen ist, meinte eine Lehrerin nach dem Projekt:

*Also das Projekt ist sehr gut gelaufen meiner Meinung nach. Gut funktioniert hat der Erwerb des Wissens und auch der Erwerb des ..., wie man an die Sachen herangeht. Und es hat gut funktioniert, dass im Laufe der Zeit die Kinder mit dem leichter zurechtkommen, was eigentlich gefordert ist: selber nachzudenken oder zu schauen, was passiert und was könnte das bedeuten.*

Die SchülerInnen haben beim Arbeiten mit den Unterrichtsmaterialien verschiedenste Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens angewendet. Sowohl methodische Fähigkeiten als auch kognitive Fähigkeiten wurden gefördert. Die geförderten methodischen Fähigkeiten reichen von manuellen Arbeitstechniken wie Mikroskopieren und Pipettieren bis zum selbständigen Planen und Durchführen von Experimenten. Die kognitive Fähigkeit, die eigene Meinung mit auf Experimenten oder Beobachtungen basierenden Argumenten zu untermauern, wurde durch die Verwendung verschiedener Methoden wie Vorhersagen - Beobachten – Begründen, *concept cartoons* oder speziellen Schreibvorlagen gefördert und im Lauf des Projektes weiterentwickelt.

#### **5.4.3.3 Verständnis der SchülerInnen von ausgewählten Prozessmerkmalen wissenschaftlichen Arbeitens**

Naturwissenschaftliches Grundverständnis ist mehr als ein Kennen naturwissenschaftlicher Theorien und Inhalte. Naturwissenschaftliches Grundverständnis beinhaltet auch ein Verständnis über die Methoden und die Prozesse, mit denen naturwissenschaftliches Wissen generiert wird. Forschendes Lernen bietet die Möglichkeit, neben dem Verständnis naturwissenschaftlicher Theorien und Fakten auch das Verständnis für naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und Prozesse zu vertiefen (Bianchini und Colburn 2000).

Eine Methode, um Argumente für eine naturwissenschaftliche Behauptung zu generieren, ist das Experiment. Verschiedene Faktoren charakterisieren ein wissenschaftliches Experiment. Damit SchülerInnen ein naturwissenschaftliches Grundverständnis entwickeln können, halte ich es für notwendig diese Faktoren auch mit den SchülerInnen zu besprechen. Folgende Faktoren eines wissenschaftlichen Experiments können meiner Ansicht nach bereits in der Volksschule sinnerfassend mit den SchülerInnen diskutiert werden:

- Idealerweise arbeitet man beim wissenschaftlichen Experimentieren mit einer Kontrollgruppe
- Zwischen Experimentiergruppe und Kontrollgruppe sollte pro Versuchsanordnung nur ein Faktor geändert werden
- Daten sollten idealerweise messbar sein
- Daten, die durch ein naturwissenschaftliches Experiment erhoben wurden, sollten reproduzierbar sein

Die Frage nach der Kontrollgruppe (Abbildung 23) beantworteten vor dem Projektunterricht 34% der SchülerInnen (n=84) korrekt, unmittelbar nach dem Projektunterricht 60% und fünf Monate nach dem Projektunterricht 89% der SchülerInnen. 1995 wurde diese Frage von 35% der österreichischen VolksschülerInnen, die sich an der TIMMS Studie beteiligten, richtig beantwortet (IEA 1997). Die relative Anzahl an korrekten Antworten vor dem Projektunterricht entspricht in etwa dem Ergebnis der TIMMS Studie. Unmittelbar nach dem Projektunterricht beantworteten fast doppelt so viele SchülerInnen wie vor dem Projekt diese Frage korrekt. Interessant ist, dass sich die relative Anzahl an korrekten Antworten 5 Monate später noch einmal um 30% gesteigert hat.

Die Frage nach der Messbarkeit (Abbildung 24) beantworteten vor dem Projekt 31% der SchülerInnen korrekt, unmittelbar nach dem Projekt 55% und fünf Monate nach dem Projekt 58% der SchülerInnen. In der TIMMS Studie wurde diese Frage von 43% der befragten SchülerInnen richtig beantwortet (IEA 1997).

Die Frage nach dem Isolieren einzelner Faktoren (Abbildung 25) wurde vor dem Projektunterricht von 56% der SchülerInnen richtig beantwortet, unmittelbar nach dem Projekt von 80% der SchülerInnen und fünf Monate nach dem Projekt von 91% der SchülerInnen. Diese Frage wurde bei der TIMMS Studie 1995 nicht gestellt (Abbildung 51).

Die Anzahl der korrekten Antworten auf alle drei Fragen stieg nach dem Projektunterricht wesentlich an. Auch zwischen Posttest 1 und Posttest 2 gab es interessanterweise noch einmal einen Anstieg an korrekten Antworten, wobei dieser Anstieg besonders bei der Frage zur Verwendung einer Kontrollgruppe sehr deutlich ausfiel.

Die Antworten auf die Fragen wurden mit den SchülerInnen weder im Lauf des Projektunterrichtes noch nach dem Projektunterricht besprochen, wobei nicht auszuschließen ist, dass die SchülerInnen untereinander die Antworten besprochen haben.

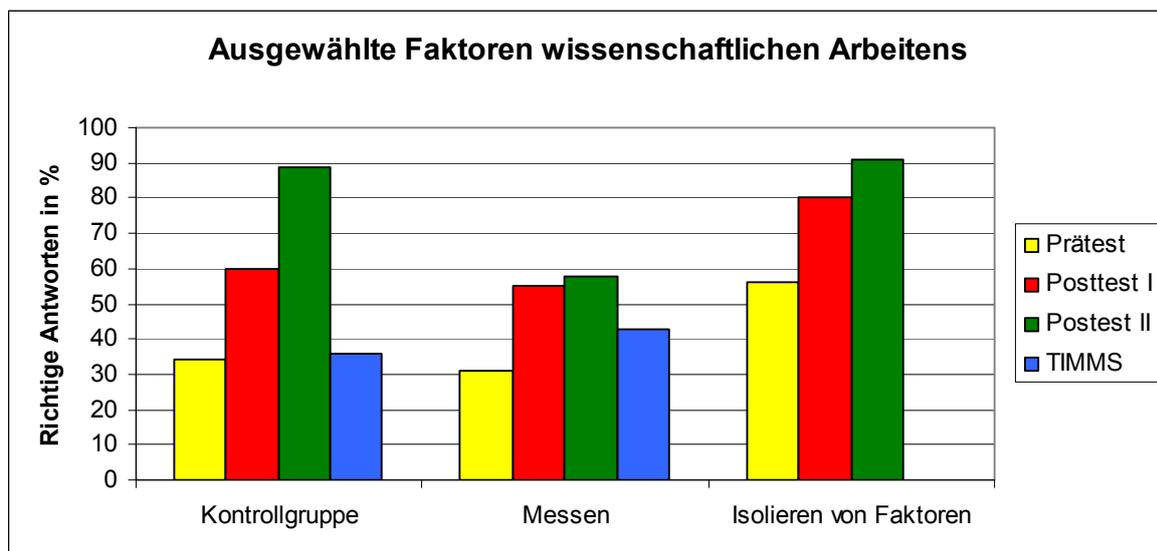


Abbildung 51: Korrekte Antworten auf die Fragen zu ausgewählten Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens vor dem Projektunterricht (Prätest), nach dem Projektunterricht (Posttest) und fünf Monate nach dem Projektunterricht (Posttest 2); n=84

Die Daten zeigen, dass durch das selbständige Experimentieren im Rahmen des Projektunterrichtes die SchülerInnen ein besseres Verständnis für die ausgewählten Faktoren eines wissenschaftlichen Experimentes entwickelt haben. Bei allen drei Fragen waren wesentliche Anstiege in Bezug auf korrekte Antworten festzustellen. Dies ist umso erstaunlicher, weil diese Faktoren im Unterricht von den LehrerInnen nicht explizit angesprochen worden ist. Sandoval (2003) geht davon aus, dass selbständiges Experimentieren nicht unbedingt zu einem verbesserten Verständnis der Faktoren eines wissenschaftlichen Experiments führen muss. Er geht davon aus, dass im Klassenzimmer neben einer Reflexion der Ergebnisse eines Experiments auch eine Reflexion des Prozesses des Experimentierens notwendig ist, um das naturwissenschaftliche Grundverständnis der SchülerInnen zu verbessern. Ich teile diese Meinung auch und deshalb wurde in die Endversion der Unterrichtsmaterialien auch der Vorschlag an die LehrerInnen aufgenommen, die Prozesse des wissenschaftlichen Experimentierens ebenso mit den SchülerInnen zu besprechen wie die Ergebnisse der Experimente. Dieser

Vorschlag war jedoch in den ersten Versionen der Unterrichtsmaterialien noch nicht enthalten und wurde von den LehrerInnen auch nicht durchgeführt. Die erhobenen Daten widersprechen den Behauptungen Sandovals jedoch teilweise. Möglicherweise wären bei einer Reflexion der Vorgehensweise der SchülerInnen beim Experimentieren noch mehr korrekte Antworten im Posttest gewesen. Doch auch ohne diese Diskussion gab es in Bezug auf die erhobenen Faktoren wesentliche Zuwächse an korrekten Antworten.

Für den sehr starken Anstieg an korrekten Antworten auf die Frage zur Verwendung einer Kontrollgruppe zwischen Posttest 1 und Posttest 2 habe ich keine eindeutige Erklärung. In diesen fünf Monaten zwischen Posttest und Posttest 2 kam es meines Wissens nach zu keinen weiteren Experimenten im Schulunterricht der vier Klassen. Möglicherweise haben einige SchülerInnen jedoch außerhalb der Schule neue Erfahrungen gesammelt (zum Beispiel Experimente in der TV Sendung "Forscherexpress" gesehen), welche die Erfahrungen mit Experimenten, die sie im Lauf des Projektes sammelten, ergänzten. Bei einer konstruktivistischen Sicht von Lernen ist es möglich und auch wahrscheinlich, dass im Kontext Schule Gelerntes erst durch spätere Erfahrungen in- oder außerhalb der Schule verstanden wird oder sinnbringend ergänzt wird. Nicht nur die prä-instruktionale Erfahrungen der SchülerInnen sind für das Lernen in der Schule wichtig, auch die post-instruktionale Erfahrungen tragen wesentlich dazu bei, was gelernt bzw. verstanden wird und was nicht.

Eine andere Erklärung wäre, dass sich die Lesekompetenz der SchülerInnen in diesen fünf Monaten weiterentwickelt hat und sie die Fragen im Posttest 2 einfach besser verstanden haben. Eine weitere Erklärung wäre, dass sich manche Inhalte erst „setzen“ müssen, bevor sie verstanden werden. Vielleicht war unmittelbar nach dem Projekt der Kopf noch zu voll, zu sehr auf die Inhalte des Projektes fokussiert, um die Fragen zu den Faktoren eines Experiments zu beantworten. Dies sind jedoch Hypothesen. Sicher ist nur, dass sich das Verständnis über Faktoren eines wissenschaftlichen Experiments im Lauf des Projektes wesentlich verbessert hat. Ich gehe davon aus, dass das direkt mit den Erfahrungen der SchülerInnen zusammenhängt, die sie im Lauf des Projektes gesammelt haben.

Die erhobenen Daten zum Thema Methodenkompetenz und kognitive Kompetenz legen zusammenfassend folgende Schlüsse nahe:

- Bei der Arbeit mit den erstellten Unterrichtsmaterialien verwenden die SchülerInnen verschiedenste naturwissenschaftliche Methoden. Diese reichen von einfachen „handwerklichen“ Tätigkeiten wie Pipettieren, Messen oder Mikroskopieren bis hin zu anspruchsvollen Tätigkeiten wie selbständigem Planen und Durchführen von Experimenten.
- Beim selbständigen Planen und Durchführen von Experimenten gehen die SchülerInnen intuitiv richtig, sprich wissenschaftlich, vor. Sie isolieren einzelne Variablen und verändern bei ihren Experimenten jeweils nur eine Variable.
- Die erstellten Unterrichtsmaterialien fördern durch die verschiedenen einbezogenen Methoden (Vorhersagen – Beobachten - Begründen, *concept cartoons*) das wissenschaftliche Argumentieren und Begründen der SchülerInnen. Beim Begründen werden sowohl wissenschaftlich eindeutige Argumente verwendet als auch Argumente, die die Aussagen der SchülerInnen zwar untermauern, jedoch aus der naturwissenschaftlichen Perspektive nicht eindeutig sind.
- Wissenschaftliches Begründen und Argumentieren muss ein zentraler Punkt forschenden Lernens sein und ist bereits in der Volksschule möglich. Forschendes Lernen in der Volksschule soll Spaß machen, soll aber auch Denkprozesse anregen, die zu Erklärungen vonseiten der SchülerInnen führen. Dies geschieht

nicht einfach durch die Möglichkeit, zu experimentieren, sondern muss geplant und unterstützt werden. Dabei hilfreich sind Schreibvorlagen, die den Fokus nicht nur auf Was-Fragen legen, sondern Warum-Fragen in den Mittelpunkt rücken. Was ist bei einem bestimmten Experiment passiert? Warum ist das deiner Meinung nach passiert?

- Für forschendes Lernen sind offene Lernumgebungen notwendig, die den SchülerInnen die Möglichkeiten zum selbständigen Manipulieren und Experimentieren geben. Um das wissenschaftliche Begründen zu fördern, sind in der Volksschule jedoch unbedingt strukturierende Hilfestellungen wie die bereits erwähnten Schreibvorlagen notwendig, da die SchülerInnen sonst auf der Was-Ebene verbleiben.
- Durch die Verwendung der erstellten Unterrichtsmaterialien beantworteten unmittelbar nach dem Projektunterricht und fünf Monate nach dem Projektunterricht wesentlich mehr SchülerInnen Fragen zu Faktoren eines wissenschaftlichen Experiments (Verwendung einer Kontrollgruppe, Messbarkeit, Isolieren von Variablen) korrekt als vor dem Projektunterricht.
- Ziel aktueller Reformen des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist die Vermittlung eines naturwissenschaftlichen Grundverständnisses. Dabei spielt forschendes Lernen eine zentrale Rolle. Die bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien gewählte enge Kombination von *hands-on* und *minds-on* Aktivitäten ist ein vielversprechender Ansatz, um den SchülerInnen ein naturwissenschaftliches Grundverständnis zu vermitteln, das über das Verstehen von naturwissenschaftlichen Theorien und Fakten hinausgeht und auch ein Verständnis für die Prozesse des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnes inkludiert.

#### 5.4.4 Epistemologische Kompetenz

Epistemologische Kompetenz beinhaltet die Fähigkeit, das Verhältnis zwischen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und den Prozessen, die zu diesen Erkenntnissen führten, zu verstehen. Während sich die Erhebungen zur Sachkompetenz mit der Frage „Was wissen die SchülerInnen?“ und die Erhebungen zur Methodenkompetenz mit der Frage „Wie haben die SchülerInnen das rausgefunden?“ beschäftigten, konzentrierten sich die Erhebungen zur epistemologischen Kompetenz auf die Frage „Wissen die SchülerInnen, warum sie etwas wissen?“. Einfacher ausgedrückt: Können die SchülerInnen die Prozesse mit denen sie ihr Wissen zum Thema Fotosynthese generiert haben, ihrem aktuellen Wissen zuordnen?

##### 5.4.4.1 Ergebnisse der Analyse der *evidence maps*

In Modul 10 erstellten die SchülerInnen *concept maps* (4.4.4) mit den wichtigsten im Projektunterricht erarbeiteten Schlüsselwörtern. Die Methode des *concept mapping* arbeitet auf der Sachebene, die SchülerInnen stellten ihr Verständnis der Konzepte Luft/Pflanzenwachstum/Fotosynthese dar, indem sie die während des Projektes erarbeiteten Schlüsselbegriffe zueinander in Verbindung brachten. Die *concept maps* stellen dar, was die SchülerInnen wissen, geben Antwort auf die Frage „Was weiß die jeweilige Gruppe?“.

Nach dem *concept mapping* teilten die LehrerInnen pro Gruppe 10 Fotos aus, die die SchülerInnen bei den verschiedenen im Lauf des Projektes durchgeführten Experimenten zeigten. Aufgabe der SchülerInnen war es, diese Fotos in die *concept maps* zu integrieren und mit jenen Schlüsselworten oder in den *concept maps* dargestellten Konzepten zu verbinden, die mit dem abgebildeten Experiment zusammenhängen. Diese Erweiterung des *concept mapping* arbeitet nicht mehr auf der Sachebene, sondern auf der epistemologischen Ebene. Die Frage lautet nicht „Was wissen die SchülerInnen?“ sondern „Können die SchülerInnen die Prozesse, durch die sie ihre Erkenntnisse generiert haben (auf den Fotos abgebildet), ihren Erkenntnissen zuordnen (in den *concept maps* dargestellt?“. Wissen die SchülerInnen, warum sie etwas wissen?

Die Analyse der *evidence maps* zeigt, dass die SchülerInnen größtenteils keine Probleme hatten, Fotos der Experimente den Konzepten auf der *concept map* richtig zuzuordnen. In jeder Klasse (4 Klassen) ordnete jede Gruppe (5 Gruppen pro Klasse) jeweils zehn Fotos den zuvor erstellten *concept maps* zu. Insgesamt wurden also 200 Fotos zugeordnet. Von den 200 Fotos wurden 156 Fotos (78%) korrekt zugeordnet, 9 Fotos (4%) wurden falsch zugeordnet und 35 Fotos (18%) wurden keinem in der *concept map* dargestellten Konzept zugeordnet, sprich es wurden von den Fotos keine Verbindungslinien zu Begriffen in der *concept map* gezogen (Tabelle 16).

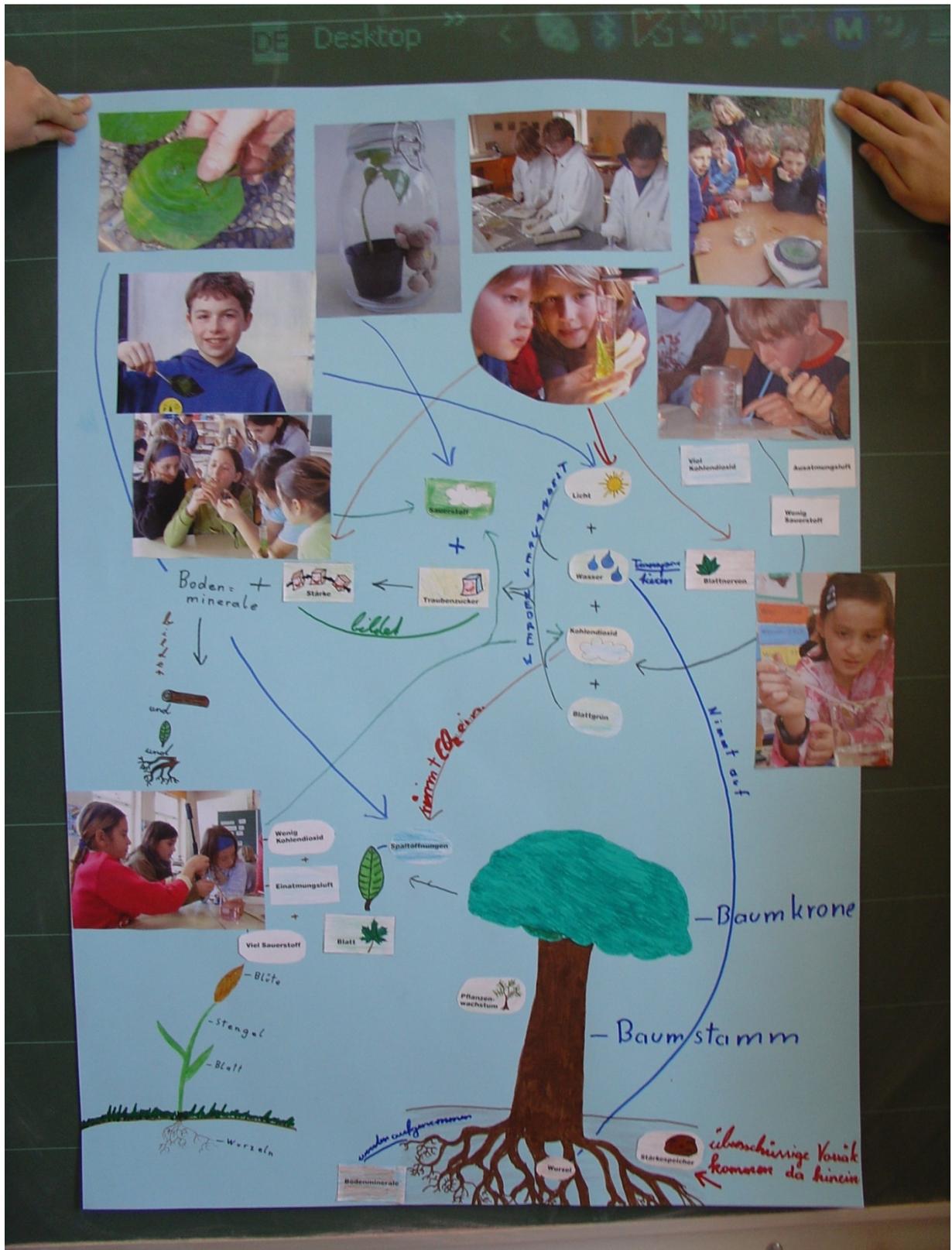


Abbildung 52: Beispiel für eine *evidence map*. Alle Bilder wurden korrekt zugeordnet. Die Bilder zeigen links oben beginnend gegen den Urzeigersinn: Nachweis von Spaltöffnungen; Pflanzen braucht Licht, um Stärke zu produzieren; Pflanzen produzieren Sauerstoff; Umgebungsluft enthält wenig Kohlendioxid; Ausatmungsluft hat viel Kohlendioxid; Ausatmungsluft hat wenig Sauerstoff; Stärkenachweis in Blättern; Pflanzen benötigen Licht, um Sauerstoff zu produzieren; Freilegen der Blattnerven; Pflanzen produzieren Sauerstoff

Tabelle 16: Analyse der *evidence maps*. Anzahl der korrekt, falsch oder nicht zugeordneten Fotos (n= 20 Gruppen; 5/Klasse); Anzahl der zuzuordnenden Fotos =200 (10/Gruppe);

Klassen	Fotos korrekt zugeordnet	Fotos falsch zugeordnet	Fotos nicht zugeordnet	Summe
Klasse 1	48	1	1	50
Klasse 2	47	1	2	50
Klasse 3	24	5	21	50
Klasse 4	37	2	11	50
Summe	156	9	35	200

78% der Fotos, die die SchülerInnen bei verschiedenen im Lauf des Projektes durchgeführten Experimenten zeigen, wurden von den SchülerInnen korrekt zugeordnet. Korrekt zugeordnete Fotos bedeuten, dass die SchülerInnen verstanden haben, was sie bei den jeweiligen Experimenten herausgefunden haben.

18% der Fotos wurden keinem in der *concept map* dargestellten Konzept zugeordnet. Die relativ hohe Anzahl an nicht zugeordneten Fotos liegt meiner Ansicht nach nicht daran, dass die SchülerInnen die Fotos nicht zuordnen konnten, sondern daran, dass einige SchülerInnen nicht wussten, dass sie die Fotos zuordnen sollten. In der Klasse 3 wurden 21 Fotos nicht zugeordnet. Dies liegt daran, dass zwei Gruppen kein einziges Foto zuordneten. Sie beschrifteten die Fotos mit Experiment 1 – Experiment 10, verbanden die Fotos jedoch nicht mit den dargestellten Konzepten. In Klasse 4 vergaß eine Gruppe ebenfalls, dass die Fotos nicht nur zum Verschönern der *concept maps* dienen, sondern, dass sie die Fotos auch zuordnen sollen. Die LehrerInnen hatten zwar erklärt, dass die Fotos den passenden Begriffen in den *concept maps* zugeordnet werden sollen, anscheinend ist es in den Klassen 3 und 4 jedoch nicht bei allen SchülerInnen angekommen.

Aufgrund der sehr geringen Anzahl an falsch zugeordneten Fotos (4%) gehe ich davon aus, dass die meisten SchülerInnen keine Probleme hatten, Verbindungen zwischen den Fotos und den in den *concept maps* dargestellten Konzepten zu knüpfen. Und genau diese Fähigkeit, Verbindungen zwischen Experimenten und Sachwissen herzustellen, befähigt die SchülerInnen auch, wissenschaftliche Sachverhalte nicht nur wiederzugeben sondern auch zu erklären.

Auf Basis der *evidence maps* lässt sich zeigen, dass die SchülerInnen den Zusammenhang zwischen den auf den Fotos gezeigten Experimenten und den in den *concept maps* dargestellten Konzepten verstanden haben. Über die Qualität dieses Zusammenhangs sagen die zugeordneten Fotos jedoch nichts aus.

Ob die SchülerInnen auf Basis der durchgeführten Experimente ihre Erkenntnisse auch kausal im Sinne eines Erkenntnis-Evidenz-Zusammenhanges erklären konnten, untersuchte ich auf Basis von Interviews, die ich fünf Monate nach dem Projekt in einer der vier Klassen führte.

#### 5.4.4.2 Ergebnisse der Theorie-Evidenz-Interviews

Fünf Monate nach dem Projektunterricht führte ich „Theorie-Evidenz-Interviews“ mit einer Gruppe sehr guter SchülerInnen, einer Gruppe mittelmäßiger SchülerInnen und einer Gruppe schwacher SchülerInnen. Als Input für diese Gespräche dienten Fotos der Experimente, die in der Schule durchgeführt wurden (Abbildung 26).

Bei diesen Interviews interessierte mich die Frage, ob die SchülerInnen 5 Monate nach dem Projekt

- die auf den Fotos abgebildeten Experimente erklären konnten
- die wichtigsten Erkenntnisse, die sie aus den Experimenten gewonnen hatten, erklären konnten
- diese Erkenntnisse kausal auf Basis der durchgeführten Experimente erklären konnten und den Theorie-Evidenz-Zusammenhang verstehen

Im Gespräch mit der Gruppe der sehr guten SchülerInnen erklärten die SchülerInnen die Fotos folgendermaßen:

*I: Was haben wir bei diesem Experiment rausgefunden (zeigt Foto a)?*

*K: Da haben wir herausgefunden, ob die Ausatemluft weniger Sauerstoff hat als die Einatemluft. Deswegen sieht man den Andreas da rein blasen. Und dass die Kerze ohne Sauerstoff nicht brennen kann. Das haben wir davor rausgefunden.*

*I: Und da (zeigt Foto b)?*

*K: Da haben wir so Zeug zusammen gemischt, immer 10 Tropfen von irgendwas, irgendwas bestimmten, ich weiß aber nicht was das war, Seife oder so. Und dann ist das rosa geworden. Und in eins haben wir rein geblasen und dann ist es wieder zu normalem Wasser geworden. Und ins andere haben wir Luft rein gepumpt.*

*I: Und was ist da passiert?*

*K: Es ist nicht sehr viel heller geworden.*

***I: Und was haben wir damit beweisen können?***

***K: Dass das Kohlendioxid das wieder normal macht.***

***I: Und warum ist es mit der Pumpe nicht weiß geworden?***

***K: Weil das hat ja Umgebungsluft rein gepumpt und da ist ja weniger Kohlendioxid drinnen.***

***I: Und was haben wir damit beweisen können?***

***K: Dass in der Ausatemluft mehr Kohlendioxid drinnen ist als in der Einatemluft.***

*I: Und was haben wir hier gemacht (zeigt Foto c)?*

*K: Da haben wir in die Reagenzglasln eine Wasserpest reingetan. In eines der Gläser destilliertes Wasser, in eines normales Wasser und in eines Mineralwasser. Und dann haben wir herausgefunden, dass im Mineralwasser*

*am meisten Sauerstoff produziert wird, weil da am meisten Kohlendioxid drinnen ist.*

*I: Und in destilliertem Wasser?*

*K: Da ist gar nichts passiert, da ist nämlich kein Kohlendioxid drinnen.*

*I: Und was haben wir da gemacht (zeigt Foto d)?*

*K: Da haben wir dann ausprobiert, ob im Dunkeln auch Sauerstoff produziert wird. Dann haben wir es da (in den Karton) so reingesteckt und dann hat man zuschauen können, ob Blasen aufsteigen oder nicht. **Und es hat aber keine produziert, oder nur ganz wenige, weil trotzdem ein bisschen Licht hingekommen ist.***

*I: Was haben wir da also beweisen können?*

*K: Dass in der Nacht kein Sauerstoff produziert wird.*

*I: Und was haben wir da rausgefunden (zeigt Bild e)?*

*K: Das war die Bildgeschichte. Also da hat sie eine Pflanze gegossen, dann ist sie gewachsen, dann hat sie die Knolle. Ah so nein, zuerst hat sie die Knolle gewogen. Dann hat sie sie in die Erde rein gegeben. Gegossen. Nein, nein, zuerst hat sie den Topf abgewogen und die Knolle. Da hat sie 200 g gehabt und der Topf 5000 g. Dann hat sie die Knolle in die Erde gesetzt und gegossen und gewartet. Und dann später hat sie alles wieder abgewogen. Dann hat der Topf 4995 g gewogen und die Kartoffel 2000 Gramm. Weil der Topf wiegt ja soviel mit der Erde drinnen. Und ein bisschen Bodenmineralien hat sich die Pflanze aber geholt. Zwar nur 5 Gramm und deswegen ist der Topf leichter geworden. **Und das ist eigentlich ein Beweis, dass sich die Pflanze so gut wie alles von der Sonne und dem Licht holt und nicht von der Erde.***

Dieses Gespräch veranschaulicht deutlich die Stärken der entwickelten Unterrichtsmaterialien. Die sehr guten SchülerInnen konnten auch fünf Monate nach dem Projektunterricht ziemlich genau sagen, was sie bei den jeweiligen Experimenten rausgefunden haben. Wichtige Erkenntnisse wie „Ausatemungsluft enthält mehr Kohlendioxid und weniger Sauerstoff als Einatemungsluft“ oder „Pflanzen brauchen Kohlendioxid und Licht, um Sauerstoff zu produzieren“ konnten sie nicht nur wiedergeben, sondern sie wussten auch genau, wie sie zu dieser Erkenntnis gekommen sind.

Die fett markierten Zitate zeigen auch, dass diese SchülerInnen zwischen Theorie und Evidenz (experimentellen Belegen) unterscheiden. Sie begründen ihre Meinung kausal auf Basis der durchgeführten Experimente, verstehen also den Theorie-Evidenz-Zusammenhang.

Die in den Interviews markierten Stellen unterstützen die Annahme, dass bereits GrundschülerInnen zwischen Theorie und Evidenz unterscheiden können, experimentelle Daten interpretieren können und begründen können. Die SchülerInnen beschreiben die durchgeführten Experimente, sie erklären, was sie bei den Experimenten rausgefunden haben und sie wissen (bei genauerem Nachfragen) genau, was sie mit dem jeweiligen Experiment zeigen bzw. beweisen konnten.

Das Interview mit der Gruppe der mittelmäßigen SchülerInnen zeigt, dass diese Gruppe zwar auch fünf Monate nach dem Projektunterricht noch ziemlich genau beschreiben kann, was sie bei den Experimenten gemacht haben und was sie dabei raus gefunden

haben. Obwohl sie die wichtigsten Erkenntnisse der abgebildeten Experimente wiedergeben können und auch wissen, wie sie bei dem Experiment vorgegangen sind, zeigen sie nur teilweise ein Verständnis für den Theorie-Evidenz-Zusammenhang.

*I: Und was haben wir dann bei diesem Experiment bewiesen? Was haben wir da gemacht (zeigt Foto b)?*

*K: Geschaut ob in der Ausatemungsluft oder der Umgebungsluft mehr Kohlendioxid ist.*

*I: Und wie haben wir das gemacht?*

*K: Einmal haben wir hinein geblasen und einmal haben wir mit der Pumpe Luft rein gepumpt. Und beim Blasen ist es hell geworden und beim Pumpen hat sich's kaum verändert.*

*I: Und warum nicht?*

*K: Weil in der Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid ist.*

*I: Hat die Farbänderung was mit dem Kohlendioxid zu tun?*

*K: Ja.*

***I: Was haben wir dabei also beweisen können bei dem Experiment?***

***K: Dass in der Umgebungsluft weniger Kohlendioxid ist.***

Im diesem Teil des Gesprächs scheint es, dass die SchülerInnen den Theorie-Evidenz-Zusammenhang verstanden haben. Sie erklären korrekterweise, dass in der Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid ist und dass sich deshalb die Flüssigkeit verfärbt hat, während in der Umgebungsluft weniger Kohlendioxid ist und sich deshalb die Flüssigkeit kaum verändert hat.

*I: Wisst ihr noch was wir mit diesem Experiment rausgefunden haben (zeigt Foto a)?*

*K: Dass die Kerze unterm Glas gleich ausgeht, weil sie keinen Sauerstoff kriegt.*

*I: Und was habt ihr da gemacht? Warum habt ihr da rein geblasen?*

*K: Da ist die Kerze dann schneller ausgegangen, weil da ist weniger Sauerstoff. Weil den haben wir selber schon verbraucht.*

***I: Was haben wir damit also zeigen können?***

***K: Dass in der Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid ist als in der Einatemungsluft und weniger Sauerstoff.***

***I: Und was haben wir bei diesem Experiment beweisen können? Dass mehr Kohlendioxid ist oder weniger Sauerstoff?***

***K: Beides. Dass in der Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid ist.***

Bei dem auf dem Foto abgebildeten Experiment, haben die SchülerInnen rausgefunden, dass in der Ausatemungsluft weniger Sauerstoff sein muss als in der Einatemungsluft, weil

eine brennende Kerze in einem Gefäß mit Ausatemluft wesentlich kürzer brennt als in einem Gefäß mit Atemluft. Die SchülerInnen sagen korrekterweise auch, dass die Kerze weniger lang brennt, weil in der Ausatemluft weniger Sauerstoff ist. Auf die Frage, was sie mit diesem Experiment also beweisen konnten, antworten sie jedoch, dass in der Ausatemluft weniger Sauerstoff **und** mehr Kohlendioxid ist. Das ist zwar auf der Sachebene richtig, das konnte aber bei diesem Experiment nicht bewiesen werden. Bewiesen konnte nur werden, dass weniger Sauerstoff in der Ausatemluft ist. Ähnliche Schwierigkeiten hatten die SchülerInnen bei Foto c.

*I: Was habt ihr da gemacht (zeigt Foto c)?*

*K: Geschaut, wo die Pflanze am meisten Sauerstoff produziert. In Mineralwasser, Leitungswasser oder destilliertem Wasser.*

*I: Und wo hat's am meisten Sauerstoff produziert?*

*K: Im Mineralwasser, weil da am meisten Kohlendioxid ist.*

***I: Was haben wir mit dem Experiment beweisen können?***

***K: Hm..***

***I: Hat's im destillierten Wasser auch Sauerstoff produziert?***

***K: Nein, weil da kein Kohlendioxid drinnen ist, das ist ganz rein.***

***I: Was haben wir also beweisen können mit dem Experiment?***

***K: Dass in destilliertem Wasser kein Kohlendioxid drinnen ist und dass sie weniger Sauerstoff produziert.***

*I: Braucht die Pflanze Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren?*

*K: Ja.*

Auch hier wissen die SchülerInnen korrekterweise, dass die Pflanzen in destilliertem Wasser keinen Sauerstoff produziert haben. Sie wissen auch, dass die Pflanzen in Mineralwasser sehr viel Sauerstoff produziert haben und dass Pflanzen Kohlendioxid brauchen, um Sauerstoff zu produzieren. Sie wissen jedoch nicht genau, warum sie wissen, was sie wissen. Mit dem Experiment haben sie beweisen können, dass eine Pflanze Kohlendioxid braucht, um Sauerstoff zu produzieren, weil in (kohlendioxidfreiem) destilliertem Wasser kein Sauerstoff gebildet wurde. Diesen Theorie-Beweis-Zusammenhang haben die SchülerInnen jedoch nicht verstanden.

Das Interview mit den SchülerInnen der schwachen Gruppe lässt vermuten, dass die schwachen SchülerInnen den Theorie-Beweis-Zusammenhang nicht verstanden haben. Auch die schwachen SchülerInnen wussten nach fünf Monaten noch, was bei den jeweiligen Experimenten gemacht worden ist und sie konnten die wichtigsten Inhalte wiedergeben. Der konkrete Zusammenhang zwischen den Experimenten und ihrem Wissen, der Theorie-Beweis-Zusammenhang war ihnen jedoch nicht klar.

*I: Und was haben wir da rausgefunden (Foto b).*

*K: Da haben wir dieses Experiment gemacht. Da haben wir so eine rosa Flüssigkeit gehabt.*

*I: Und was haben wir da gemacht?*

*K: Sauerstoff reingeblasen.*

*I: Sauerstoff oder Luft?*

*K: Luft.*

*I: Und was ist dann passiert?*

*K: Da wurde das Wasser weiß?*

*C: Genau und warum?*

*K: Weil....*

*I: Hat das was mit dem Kohlendioxid zu tun?*

*K: Ja vielleicht.*

*I: Was haben wir dann gemacht?*

*K: Dann haben wir von der Pumpe die Umgebungsluft reingepumpt.*

*I: Und was ist da passiert?*

*K: Da blieb das Wasser rosa.*

*I: Also einmal ist es rosa geblieben und einmal ist es weiß geworden. Und warum ist das so?*

*K: Weil....*

*I: Wie unterscheidet sich jetzt die Luft, die man rein bläst und die, die man rein pumpt?*

*K: Dass die Ausatemungsluft weniger Sauerstoff als die Umgebungsluft hat.*

*I: Und was hat sie mehr stattdessen?*

*K: Kohlendioxid*

*I: Und was wollten wir hier heraus finden (zeigt Foto c)*

*K: Ob Pflanzen in der Nacht auch Sauerstoff produzieren.*

*I: Nein. Das mit der Nacht das wollten wir auf diesem Foto (zeit Foto d) herausfinden. Und was haben wir da gemacht (Foto c)?*

*K: Ah, das mit dem Mineralwasser, mit dem normalen Wasser und dem ...*

*I: Wie hat das dritte Wasser geheißen?*

*K: hm..*

*I: Destilliertes Wasser. Und was ist passiert?*

*K: Dass beim Mineralwasser am meisten Sauerstoff rausgekommen ist. Mehr Bläsln als beim normalen Wasser.*

*I: Und beim destillierten Wasser, wieviel sind da Bläschen raus gekommen?*

*K: Eins oder Null.*

*I: Und was konnten wir mit diesem Experiment beweisen?*

*K: Das in Mineralwasser am meisten Sauerstoff wird.*

*I: Und warum wird beim Mineralwasser am meisten Sauerstoff produziert? Was braucht die Pflanze, um Sauerstoff zu produzieren?*

*K: Wasser, Sonne, Blattgrün.*

*I: Und was noch? Was nimmt sie aus der Luft?*

*K: Kohlendioxid.*

*I: Genau. Und was haben wir jetzt beweisen können mit diesem Experiment?*

*K: hm...*

*I: Ist in destilliertem Wasser viel Kohlendioxid?*

*K: Nein ganz wenig.*

*I: Und im Leitungswasser?*

*K: Ein bisschen.*

*I: Und im Mineralwasser?*

*K: Ganz viel*

*I: Und wo ist am meisten Sauerstoff produziert worden?*

*K: Im Mineralwasser.*

*I: Und warum?*

*K: Weil dort am meisten Kohlendioxid war.*

*I: Genau, also wir haben beweisen können, dass die Pflanze Kohlendioxid braucht, um Sauerstoff zu produzieren.*

Diese Interviewausschnitte zeigen das Phänomen des *answer hunting* ganz gut. Durch gezieltes Fragen fand ich heraus, dass die SchülerInnen wichtige Inhalte (Unterschied Ausatemluft-Einatmungsluft; Was benötigt Pflanzen für Sauerstoffproduktion?) wahrscheinlich verstanden hatten. Der Zusammenhang zwischen den Experimenten und ihrem Sachwissen war den SchülerInnen höchstwahrscheinlich jedoch nicht klar.

Diese Interviews zeigen, dass besonders die guten SchülerInnen auch fünf Monate nach dem Projekt keine Probleme hatten, die auf den Fotos abgebildeten Experimente zu erklären, die Ergebnisse korrekt wiederzugeben und die Daten auch kausal zu interpretieren und die Ergebnisse zu begründen. Auch die mittelmäßigen SchülerInnen

hatten keine Probleme, wichtige Ergebnisse korrekt wiederzugeben und die Experimente genau zu beschreiben. Die kausalen Zusammenhänge zwischen den Experimenten und den Ergebnissen konnten die SchülerInnen teilweise interpretieren, teilweise nicht. Auch die schwachen SchülerInnen konnten fünf Monate nach dem Projektunterricht die wichtigsten Erkenntnisse wiedergeben und die auf den Fotos abgebildeten Experimente erklären. Die kausalen Zusammenhänge zwischen den Erkenntnissen und den Experimenten waren den schwachen SchülerInnen jedoch wahrscheinlich nicht bewusst.

Diese Interviews wurden jedoch nur mit 3 SchülerInnengruppen (à 3 SchülerInnen) geführt. Auf Grund dieses kleinen *sample* lassen sich schwer allgemein gültige Aussagen treffen. Die angewendete Methode halte ich jedoch – obwohl zeitaufwändig – für sehr geeignet, um zu erheben, ob SchülerInnen den Zusammenhang von Theorie und Evidenz verstehen oder nicht. Dies ist besonders unter dem Blickwinkel interessant, dass die bisher im deutschsprachigen Raum verwendeten Methoden zum Erheben des epistemologischen Verständnisses teilweise als nicht angemessen kritisiert werden (Priemer 2006).

Die erhobenen Daten zum Thema epistemologische Kompetenz legen zusammenfassend folgende Schlüsse nahe:

- Die Analyse der *evidence maps* zeigt, dass die SchülerInnen unmittelbar nach dem Projektunterricht größtenteils keine Probleme haben, die Prozesse des Erkenntnisgewinnes (auf den Fotos abgebildet) den in den *concept maps* abgebildeten Konzepten zuzuordnen. Dies zeigt, dass die SchülerInnen nach dem Projekt wussten, dass z.B. bei den Experimenten mit der Wasserpest gezeigt werden konnte, dass die Pflanzen Sauerstoff produzieren. Die Qualität dieses Zusammenhanges lässt sich jedoch anhand der *evidence maps* nicht beurteilen.
- Die Analyse der Interviews, die ich fünf Monate nach dem Projektunterricht mit drei SchülerInnengruppen führten, zeigen, dass die SchülerInnen auch fünf Monate nach dem Projektunterricht noch genau beschreiben können, was sie bei den jeweiligen Experimenten gemacht haben und was sie bei diesen Experimenten rausgefunden haben.
- Ein eindeutiges Erkenntnis-Evidenz-Verständnis zeigte jedoch nur die Gruppe der sehr guten SchülerInnen. Diese Gruppe konnte klar zwischen Theorie und Beweis unterscheiden und verstand den Zusammenhang zwischen Theorie und Evidenz.
- Die Gruppen der mittelmäßigen und schwachen SchülerInnen wusste zwar, was sie bei den jeweiligen Experimenten gemacht hatten und was sie mit dem jeweiligen Experiment rausgefunden hatten, die kausale Begründung für diese Erkenntnisse auf Basis der durchgeführten Experimente bereitete diesen Gruppen jedoch Schwierigkeiten. Sie verstanden die Logik der Prüfung von Aussagen und den Zusammenhang von Theorie und Evidenz nur teilweise.

## **5.5 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf die forschungsleitenden Fragen**

### **5.5.1 Interesse und Einstellungen**

#### **Forschungsleitende Frage 1: Ist bereits im Volksschulalter mangelndes Interesse an naturwissenschaftlichen Inhalten festzustellen?**

In Österreichs Schulen werden naturwissenschaftliche Inhalte im Rahmen des Sachunterrichtes unterrichtet. Die 84 von mir befragten SchülerInnen haben größtenteils eine sehr positive Einstellung zum Fach Sachunterricht, obwohl sie es nicht für ein leichtes Fach halten. Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen im Rahmen des Sachunterrichtes sind sehr positiv besetzt. Bei den SchülerInnen besonders beliebt ist das selbständige Experimentieren in der Gruppe, wobei unter Experimentieren hauptsächlich das aktive Tun (*hands-on*) verstanden wird. In Bezug auf das *hands-on* ist das selbständige Suchen nach Erklärungen (*minds-on*) signifikant weniger positiv besetzt. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die SchülerInnen mit größtenteils sehr positiven Einstellungen gegenüber dem naturwissenschaftlichen Unterricht in die Hauptschule oder das Gymnasium wechseln.

#### **Forschungsleitende Frage 2: Sind bereits im Volksschulalter genderspezifische Interessensunterschiede bezüglich naturwissenschaftlichen Inhalten festzustellen?**

Das Fach Sachunterricht ist in Bezug auf andere Fächer bei den befragten Buben beliebter als bei den Mädchen. Während 21% der Schüler (n=43) Sachunterricht als Lieblingsfach nennen, sind es nur 7% der Schülerinnen (n=41). Dies legt den Schluss nahe, dass Sachunterricht in Bezug auf andere Fächer bei den Buben beliebter ist als bei den Mädchen. Analysiert man jedoch Fragen zum Interesse am Sachunterricht, zeigen sich keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede. Auch bei Fragen nach dem Interesse an naturwissenschaftlichen Tätigkeiten im Sachunterricht zeigen sich keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede. Die befragten Mädchen experimentieren genauso gerne wie die befragten Buben und sie schauen der Lehrerin/dem Lehrer genauso gerne beim Experimentieren zu. Weiterführende Studien, die auch außerschulische Erfahrungen mit Naturwissenschaften von Mädchen und Buben in die Erhebung miteinbeziehen, könnten Gründe aufzeigen, warum der Interessensverlust an den Naturwissenschaften ab dem elften Lebensjahr bei den Mädchen signifikant höher ist als bei den Buben.

#### **Forschungsleitende Frage 3: Welchen Einfluss hat der durchgeführte Projektunterricht auf das Interesse der SchülerInnen am naturwissenschaftlichen Unterricht?**

Die erstellten Unterrichtsmaterialien fördern das Interesse der SchülerInnen am selbständigen Problemlösen und selbständigen Suchen nach Erklärungen, indem Situationen geschaffen werden, in denen die SchülerInnen ihre eigene Kompetenz in eben diesen – im Unterricht oft vernachlässigten – Bereichen erleben können. Das Interesse an schülerInnenzentriertem Experimentieren stieg im Lauf des Projektes signifikant an, während das Interesse an lehrerInnenzentriertem Experimentieren signifikant abnahm. Die Unterscheidung in lehrerInnenzentriertes und schülerInnenzentriertes Experimentieren ist wichtig, da auch ein Unterricht mit vielen Experimenten und Demonstrationen sehr lehrerInnenzentriert sein kann, wenn z.B. Versuche rezeptartig nachgekocht werden müssen und den SchülerInnen nicht die notwendige Autonomie beim Planen, Durchführen und Auswerten der Experimente gelassen wird. Die erstellten Unterrichtsmaterialien führen aufgrund der Möglichkeit zum selbständigen Planen, Durchführen und Evaluieren einfacher Experimente in der Gruppe zu einem Kompetenzerleben auf Seiten der SchülerInnen, welches zu einem gesteigerten

Interesse an schülerInnenzentriertem Experimentieren und an selbständigem Suchen nach Erklärungen führt. Ob dieser Interessenszuwachs auch zu einem generell größeren Interesse an den Naturwissenschaften führt, kann auf Basis der erhobenen Daten nicht geklärt werden. Das muss auch nicht Ziel des Unterrichtes sein. Die SchülerInnen entscheiden selbst, was sie für interessant halten und was nicht. Keine Schülerin und kein Schüler ist dazu verpflichtet, sich für das zu interessieren, was die jeweilige Lehrerin oder der jeweilige Lehrer interessant findet. Ziel der LehrerInnen und NaturwissenschaftsdidaktikerInnen sollte es jedoch sein, den Faktor Unterricht so zu gestalten, dass eine Interessensbildung möglich ist. Wenn Kompetenzerleben und selbstbestimmtes Lernen im Unterricht unterstützt wird und die Unterrichtsinhalte an den alltäglichen Erfahrungen der SchülerInnen anknüpfen, haben die SchülerInnen zumindest die Chance, ihre Interessiertheit zu befriedigen. Daraus kann dann – abhängig auch von anderen Umständen – auch ein längerfristiges Interesse an den Naturwissenschaften entstehen.

## **5.5.2 Sachkompetenz**

### **Forschungsleitende Frage 4: Welche Vorstellungen zum Thema Fotosynthese haben die teilnehmenden SchülerInnen vor dem Projektunterricht?**

Vor dem Projektunterricht konnten die wenigsten SchülerInnen etwas mit dem Begriff Fotosynthese anfangen, sie hatten jedoch klare Vorstellungen zu den Themen Luft und Pflanzenwachstum. Beide Themen sind eng mit dem Thema Fotosynthese verbunden.

Bezüglich des Themas Luft war bereits vor dem Projektunterricht den meisten SchülerInnen bewusst, dass sich Ein- und Ausatemluft unterscheiden, obwohl nur wenige genau sagen konnten, wie sie sich unterscheiden. Der Begriff Sauerstoff war schon einigen bekannt, ebenfalls der Begriff Kohlendioxid. Stickstoff, der mit 78% den größten Anteil an der Luft stellt, wurde von keiner Schülerin/keinem Schüler im Lauf der Interviews vor dem Projektunterricht genannt. Auch dass Pflanzen Sauerstoff produzieren war schon vor dem Projektunterricht vielen SchülerInnen bewusst, wobei die meisten der Meinung waren, dass nur Bäume Sauerstoff produzieren.

In Bezug auf das Thema Pflanzenwachstum lässt sich auf Basis der analysierten Interviews sagen, dass die SchülerInnen bereits vor dem Projektunterricht eine klare Vorstellung davon hatten, was eine Pflanze zum Wachsen benötigt. Diese Vorstellungen basieren auf ihren eigenen Erfahrungen und funktionieren auf einer makro-phänomenologischen Ebene. Die SchülerInnen wissen, dass eine Pflanze Wasser, Sonnenlicht und Erde braucht. Die meisten SchülerInnen unterscheiden nicht zwischen Erde und Bodenmineralien und die Bedeutung der Erde wird von vielen SchülerInnen überschätzt. Das in der biologiepädagogischen Literatur oft beschriebene Alternativkonzept, dass sich Pflanzen hauptsächlich von Erde ernähren (Wandersee 1983, Wood-Robinson 1991, Leach et al. 1996, Marmaroti et al. 2006) kann anhand meiner Daten jedoch nicht bestätigt werden. Die jungen Lernenden wissen genau, dass eine Pflanze auch Sonnenlicht und Wasser zum Wachsen braucht. Wie jedoch aus Wasser, Licht und Erde Strukturen wie Holz oder Blätter entstehen können, ist den SchülerInnen vor dem Projektunterricht nicht bewusst.

Im Gegensatz zu den makro-phänomenologischen Erklärungen der SchülerInnen bietet das Konzept der Fotosynthese eine mikro-konzeptuelle Erklärung für das Pflanzenwachstum. Die Fotosynthese erklärt, wie aus Licht, Wasser und Kohlendioxid organische Stoffe entstehen, die dann gemeinsam mit den Bodenmineralien zur Synthese von Holz, Blättern oder Früchten verwendet werden.

Fotosynthese kann dann verständnisvoll unterrichtet werden kann, wenn den Lernenden der Link zwischen der makro-phänomenologischen Ebene und der mikro-konzeptuellen

Ebene bewusst wird. Aus diesem Grund wird in den erstellten Unterrichtsmaterialien das Thema Fotosynthese im Kontext Pflanzenwachstum vermittelt. Es wird an den makro-phänomenologischen Erklärungen der SchülerInnen zum Thema Luft und Pflanzenwachstum angeknüpft und ihre Konzepte werden weiterentwickelt.

### **Forschungsleitende Frage 5: Welche Vorstellungen zum Thema Fotosynthese haben die teilnehmenden SchülerInnen nach dem Projektunterricht?**

Die vorunterrichtlichen Konzepte der SchülerInnen zum Thema Luft und Pflanzenwachstum konnten im Rahmen des Projektunterrichtes zu wissenschaftlich anerkannten Konzepten weiterentwickelt werden.

In Bezug auf das Thema Luft war den SchülerInnen nach dem Projektunterricht nicht nur bewusst, dass sich Ausatemungs- und Einatemungsluft unterscheiden, sondern sie konnten den Unterschied auch klar benennen. Anstelle des Beschreibens eines Sachverhaltes („frische Luft ist halt frischer“) tritt eine Erklärung für den Sachverhalt (Einatemungsluft ist „frischer“, weil sie mehr Sauerstoff und weniger Kohlendioxid enthält).

In Bezug auf das Thema Pflanzenwachstum verstanden die SchülerInnen nach dem Projekt, dass Pflanzen durch den Prozess der Fotosynthese ihre eigene Nahrung herstellen. Sie kannten die Ausgangs- und Endprodukte der Fotosynthese und verstanden die Rolle des Lichtes und auch die des Chlorophylls. Wichtige ökologische und physiologische Aspekte der Fotosynthese wurden also verstanden. Während die SchülerInnen vor dem Projekt ausschließlich makro-phänomenologische Erklärungen für das Pflanzenwachstum lieferten wussten sie nach dem Projektunterricht, dass die Pflanze durch die Fotosynthese Zucker herstellt, der gemeinsam mit den Bodenmineralien für das Pflanzenwachstum zuständig ist. Wie aus Zucker Holz oder Blätter entstehen, wurde jedoch während des Projektunterrichtes nicht geklärt.

Die unterrichteten ökologischen Aspekte (Kohlendioxid – Sauerstoff – Kreislauf; Pflanzen als Startpunkt der Nahrungskette) und physiologischen Aspekte (Blätter enthalten Blattgrün, um das Licht aufzunehmen; über die Spaltöffnungen nehmen die Pflanzen Kohlendioxid auf und geben Sauerstoff ab) der Fotosynthese wurden von einem Großteil der SchülerInnen verstanden. Die energetischen und biochemischen Aspekte wurden im Projekt jedoch nicht angesprochen. Für viele SchülerInnen ist die Fotosynthese ein simples Input-Output-Modell (Wasser, Kohlendioxid, Sonnenlicht rein – Zucker raus). Die energetischen und biochemischen Aspekte, die ebenfalls sehr wichtig für ein Verständnis des Themas Fotosynthese sind, können jedoch erst sinnbringend unterrichtet werden, wenn SchülerInnen einfache chemische Reaktionen und das Konzept „Energie“ verstehen. Dies ist meiner Meinung nach erst in der Sekundarstufe 2 möglich.

### **Forschungsleitende Frage 6: Ändert sich die Sprache der SchülerInnen beim Artikulieren ihrer Vorstellungen im Lauf des Projektes?**

Die Formulierungen der SchülerInnen änderten sich im Lauf des Projektes wesentlich. Während vor dem Projektunterricht sehr viele Erklärungen zum Thema Luft und Pflanzenwachstum in der Alltagssprache der Kinder formuliert wurden („dreckige Luft“, „Bäume machen Luft frisch“, „Pflanzen brauchen Erde“), wurden nach dem Projektunterricht wissenschaftliches Vokabular richtig verwendet („Pflanzen nehmen Kohlendioxid über die Spaltöffnungen auf und geben Sauerstoff ab“, „Pflanzen brauchen Bodenmineralien“).

### 5.5.3 Methodenkompetenz

#### **Forschungsleitende Frage 7: Welche Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens verwenden die SchülerInnen beim Arbeiten mit den Unterrichtsmaterialien?**

Bei der Arbeit mit den erstellten Unterrichtsmaterialien verwenden die SchülerInnen verschiedenste naturwissenschaftliche Methoden. Diese reichen von einfachen „handwerklichen“ Tätigkeiten wie Pipettieren, Messen oder Mikroskopieren bis hin zu anspruchsvollen Tätigkeiten wie selbständigem Planen und Durchführen von Experimenten. Beim selbständigen Planen und Durchführen von Experimenten gingen die meisten SchülerInnen richtig, sprich wissenschaftlich, vor. Sie isolieren einzelne Variablen und verändern bei ihren Experimenten jeweils nur eine Variable.

#### **Forschungsleitende Frage 8: Ändert sich im Lauf des Projektunterrichtes das Verständnis der SchülerInnen zu ausgewählten Prozessmerkmalen wissenschaftlichen Arbeitens?**

Forschendes Lernen bietet die Möglichkeit, neben dem Verständnis naturwissenschaftlicher Theorien und Fakten auch das Verständnis für naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und Prozesse zu vertiefen. Das Experiment ist ein wesentlicher Bestandteil naturwissenschaftlicher Arbeit. Damit sich ein Experiment von simplen „Rumprobieren“ unterscheidet, müssen bestimmte Faktoren wie zum Beispiel i) der Einbezug einer Kontrollgruppe, ii) die Messbarkeit der Daten oder iii) das Isolieren einzelner, das Experiment beeinflussende, Faktoren berücksichtigt werden.

Eine Frage nach dem Einbezug einer Kontrollgruppe (Abbildung 23) beantworteten vor dem Projektunterricht 34% der SchülerInnen (n=84) korrekt, unmittelbar nach dem Projektunterricht 60% und fünf Monate nach dem Projektunterricht 89% der SchülerInnen. Eine Frage nach der Messbarkeit (Abbildung 24) beantworteten vor dem Projekt 31% der SchülerInnen korrekt, unmittelbar nach dem Projekt 55% und fünf Monate nach dem Projekt 58% der SchülerInnen. Eine Frage nach dem Isolieren einzelner Faktoren (Abbildung 25) wurde vor dem Projektunterricht von 56% der SchülerInnen richtig beantwortet, unmittelbar nach dem Projekt von 80% der SchülerInnen und fünf Monate nach dem Projekt von 91% der SchülerInnen.

Die Anzahl der korrekten Antworten auf alle drei Fragen stieg nach dem Projektunterricht wesentlich an und auch fünf Monate nach dem Projektunterricht schneiden die SchülerInnen bei den Fragen zu Faktoren wissenschaftlichen Experimentierens wesentlich besser ab als der österreichische Durchschnitt bei TIMMS 1995 (Fragestellungen wurden übernommen).

### 5.5.4 Kognitive Kompetenz

#### **Forschungsleitende Frage 9: Fördern die erstellten Unterrichtsmaterialien die kognitive Kompetenz der SchülerInnen, auf Basis der selbständig durchgeführten Experimente gültige Schlussfolgerungen zu ziehen?**

Die erstellten Unterrichtsmaterialien fördern durch die verschiedenen einbezogenen Methoden (Vorhersagen-Beobachten-Begründen, *concept cartoons*, spezielle Schreibvorlagen) das selbständige Ziehen von Schlussfolgerungen und das wissenschaftliche Argumentieren und Begründen der SchülerInnen.

Die erhobenen Daten zeigen, dass 9-10jährige SchülerInnen in der Lage sind, ihre Meinung mit wissenschaftlichen Argumenten auf Basis der eigenen Beobachtungen

zu untermauern. Die Beobachtungen zeigen, dass SchülerInnen sowohl Argumente verwenden, die einen bestimmten Sachverhalt eindeutig untermauern (in kohlendioxidfreiem Wasser produziert die Pflanze keinen Sauerstoff → Pflanzen brauchen Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren) als auch Argumente, aus denen man aus naturwissenschaftlicher Sicht nicht eindeutig auf einen bestimmten Sachverhalt schließen kann (in kohlendioxidreichem Wasser produzieren Pflanzen viel Sauerstoff → Pflanzen brauchen Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren).

Wissenschaftliches Begründen und Argumentieren muss ein zentraler Punkt forschenden Lernens sein und ist bereits in der Volksschule möglich. Forschendes Lernen in der Volksschule soll Spaß machen, soll aber auch Denkprozesse anregen, die zu Erklärungen von Seiten der SchülerInnen führen. Dies geschieht nicht einfach durch die Möglichkeit, zu experimentieren, sondern muss ganz gezielt geplant und unterstützt werden. Dabei hilfreich sind Schreibvorlagen, die den Fokus nicht nur auf Was-Fragen legen, sondern Warum-Fragen in den Mittelpunkt rücken. Was ist bei einem bestimmten Experiment passiert? Warum ist das deiner Meinung nach passiert?

Für forschendes Lernen sind offene Lernumgebungen notwendig, die den SchülerInnen die Möglichkeiten zum selbständigen Manipulieren und Experimentieren geben. Um das wissenschaftliche Begründen zu fördern, sind in der Volksschule jedoch unbedingt strukturierende Hilfestellungen wie die bereits erwähnten Schreibvorlagen notwendig, da sonst die Gefahr besteht, dass die SchülerInnen planlos und zu wenig fokussiert experimentieren und dabei vergessen, was eigentlich das Ziel ihres Experimentierens ist: das Generieren von Daten, auf deren Basis sich valide Schlussfolgerungen ziehen lassen.

### **5.5.5 Epistemologische Kompetenz**

#### **Forschungsleitende Frage 10: Verstehen die SchülerInnen den Zusammenhang zwischen ihrem Wissen zum Thema Fotosynthese und den Prozessen, die zu diesem Wissen führen?**

Die Analyse der *evidence maps* zeigt, dass die SchülerInnen unmittelbar nach dem Projektunterricht größtenteils keine Probleme haben, die Prozesse des Erkenntnisgewinnes den in den *concept maps* abgebildeten Konzepten zuzuordnen.

78% der Fotos (n=200), die die SchülerInnen bei verschiedenen im Lauf des Projektes durchgeführten Experimenten zeigen, wurden von den SchülerInnen korrekt zugeordnet. Korrekt zugeordnete Fotos bedeuten, dass die SchülerInnen verstanden haben, was sie bei den jeweiligen Experimenten herausgefunden haben. 18% der Fotos wurden keinem der in den *concept map* dargestellten Konzepte zugeordnet. 4 % der Fotos wurden falsch zugeordnet. Aufgrund der sehr geringen Anzahl an falsch zugeordneten Fotos, gehe ich davon aus, dass die meisten SchülerInnen keine Probleme hatten, Verbindungen zwischen den Fotos und den in den *concept maps* dargestellten Konzepten zu knüpfen. Und genau diese Fähigkeit, Verbindungen zwischen Experimenten und Sachwissen herzustellen, befähigt die SchülerInnen auch, wissenschaftliche Sachverhalte nicht nur wiederzugeben sondern auch zu erklären.

Die Interviewanalysen zeigen, dass die SchülerInnen auch fünf Monate nach dem Projektunterricht noch genau beschreiben können, was sie bei den jeweiligen Experimenten gemacht haben und was sie bei diesen Experimenten rausgefunden haben. Ein eindeutiges Erkenntnis-Evidenz-Verständnis zeigte jedoch nur die Gruppe der sehr guten SchülerInnen. Diese Gruppe konnte klar zwischen Theorie und Beweis unterscheiden und verstand den Zusammenhang zwischen Theorie und Evidenz. Die Gruppen der mittelmäßigen und schwachen SchülerInnen wusste zwar, was sie bei den jeweiligen Experimenten gemacht hatten und was sie mit dem jeweiligen Experiment rausgefunden hatten, die kausale Begründung für diese Erkenntnisse auf Basis der

durchgeführten Experimente bereitete diesen Gruppen jedoch Schwierigkeiten. Sie verstanden die Logik der Prüfung von Aussagen und den Zusammenhang von Theorie und Evidenz nur teilweise.

## 6 Zusammenfassung

„Forschendes Lernen“ ist ein zentraler Terminus in aktuellen Reformen des naturwissenschaftlichen Unterrichts in Europa. Selbständiges Forschen soll einerseits positiv auf die Lernmotivation der SchülerInnen wirken, andererseits soll durch selbständiges Forschen neben naturwissenschaftlichen Konzepten verstärkt auch ein Verständnis für den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn (*Nature of Science*) vermittelt werden.

Auch in der Volksschule ist es möglich und wichtig, Forschungsprozesse durchschaubar zu machen. Dies ist aber sicherlich nicht durch den kognitiven Nachvollzug vorgegebener Wissensbestände möglich, sondern indem Lernumgebungen geschaffen werden, in denen die/der Lernende die Möglichkeit hat, selbständig zu experimentieren, zu forschen und zu manipulieren. Selbständiges Experimentieren darf dabei jedoch nicht auf der Ebene manueller Arbeitstechniken stehen bleiben, sondern es soll Denkprozesse anregen und zu Erklärungen von Seiten der Lernenden führen. Auf *Hands-on* Phasen müssen auch immer *Minds-on* Phasen folgen, da sonst kaum eigene kognitive Prozesse stattfinden und somit auch ein falsches Bild von wissenschaftlichem Arbeiten vermittelt wird.

Im Rahmen des EU Projektes Plant Science Gardens habe ich im Schuljahr 2006/2007 in enger Kooperation von VolksschullehrerInnen und –direktorInnen, FachdidaktikerInnen der PH Tirol und der Universität Salzburg und dem Team der Grünen Schule des Botanischen Gartens in Innsbruck „forschend-begründende“ Unterrichtsmaterialien zum Thema Pflanzenwachstum entwickelt, getestet und evaluiert.

„Forschend-begründend“ bezieht sich dabei auf die Tatsache, dass neben dem selbständigen Experimentieren besonders die kognitive Kompetenz, von einem Experiment oder einer Beobachtung auf eine Erklärung für einen bestimmten Sachverhalt zu schließen, weiterentwickelt werden soll.

Vor dem Hintergrund des gemäßigt-konstruktivistischen Ansatzes wurden zehn Module zu je 60-90 min entwickelt. Ausgehend von den täglichen Beobachtungen der SchülerInnen zu den Themen „Luft“ und „Pflanzenwachstum“, bieten die Unterrichtsmaterialien den SchülerInnen die Möglichkeit, ihre eigenen Vorstellungen durch selbständiges und aktives Experimentieren zu hinterfragen und weiterzuentwickeln.

In den Unterrichtsmaterialien werden verschiedenste Methoden wie Vorhersagen-Beobachten-Erklären, *concept cartoons* oder der Einbezug historischer Experimente verwendet. Alle Methoden folgen dem Grundgedanken, dass die Lernenden i) Vorhersagen über einen bestimmten Sachverhalt treffen, ii) sich in der Gruppe auf Begründungen für diese Vorhersagen einigen, iii) selbständig Experimente planen, durchführen und evaluieren und iv) auf Basis dieser Experimente Schlussfolgerungen ziehen und diese mit ihren Vorhersagen vergleichen.

In Gruppendiskussionen haben die SchülerInnen die Möglichkeit den Prozess des naturwissenschaftlichen Begründens zu erproben. Durch den Einbezug spezieller Schreibvorlagen (z.B. Ich glaube Antwort \_\_\_ ist richtig, weil ....) wird die Fähigkeit, wissenschaftlich zu begründen, gefördert. Sobald die SchülerInnen ihre eigenen Voraussagen oder Behauptungen schriftlich begründen müssen, beginnen sie, über exakte Formulierungen nachzudenken und auf Basis ihrer Beobachtungen Schlussfolgerungen zu ziehen.

Zwei der zehn Module wurden im Botanischen Garten durchgeführt. Botanische Gärten eignen sich durch die vermittelten Primärerfahrungen und die Authentizität dieser Erfahrungen besonders gut, den Unterricht in der Schule zu bereichern. Durch eine

engere Zusammenarbeit der Schulen mit dem Botanischen Garten profitieren sowohl die Schule aufgrund der inhaltlichen und methodischen Alternativen zum Unterricht in der Klasse als auch die Botanischen Gärten, da durch eine Vor- und Nachbereitung der im Garten vermittelten Inhalte, der Botanische Garten nicht nur als nettes Ausflugsziel sondern als aktive und attraktive Lernumgebung wahrgenommen wird.

Die erstellten Unterrichtsmaterialien wurden in vier Volksschulklassen (84 SchülerInnen) getestet. Der Unterricht in der Schule wurde in leistungshomogenen Gruppen von den beteiligten LehrerInnen durchgeführt, der Unterricht im Botanischen Garten vom Personal der Grünen Schule. Die Methoden der Datenerhebung waren vielfältig. Mittels semi-strukturierter Interviews wurden die SchülerInnenvorstellungen zum Thema „Luft“ und „Pflanzenwachstum“ vor und nach den zehn Modulen erhoben und verglichen. Mittels Fragebogen wurden die Einstellungen zum selbständigen Experimentieren und die SchülerInnenvorstellungen über Faktoren wissenschaftlichen Experimentierens (Kontrollgruppe, Isolieren von Variablen, Messen) vor (Prätest), unmittelbar nach (Posttest 1) und fünf Monate nach (Posttest 2) dem Projekt erhoben. Um zu überprüfen, ob die SchülerInnen den Zusammenhang zwischen ihren Erkenntnissen und den Prozessen, die zu diesen Erkenntnissen führten (epistemologische Kompetenz), verstanden haben, verwendete ich die im Rahmen dieser Dissertation entwickelte Methode des *evidence mapping* und semi-strukturierte Interviews. Alle am Projekt beteiligten Personen führten ein Projekttagbuch, alle Unterrichtseinheiten wurden beobachtet und detaillierte qualitative Beobachtungsprotokolle wurden verfasst. Die qualitativen Daten aus Interviews, Beobachtungsprotokollen und den Projekttagbüchern wurden mithilfe der Software *atlas.ti* analysiert. Die quantitativen Daten wurden mittels deskriptiver und induktiver Statistik in SPSS analysiert. Die erhobenen Daten wurden einerseits im Rahmen der Dissertation verwertet, waren aber auch gleichzeitig ein wichtiges Feedback, auf dessen Basis die Unterrichtsmaterialien kontinuierlich verbessert wurden.

Bezüglich der Einstellungen zum selbständigen Experimentieren zeigt ein Vergleich des Prä- und Posttests, dass durch die im Rahmen des Projektes gewonnenen positiven Erfahrungen mit selbständigem Experimentieren und selbständigem Suchen nach Erklärungen signifikant positivere Einstellungen zu schülerInnenzentriertem Experimentieren (Selber Experimente machen + Ich finde selber heraus, wie ein Experiment funktioniert) und signifikant negativere Einstellungen zu lehrerInnenzentriertem Experimentieren (LehrerIn zeigt uns ein Experiment + LehrerIn erklärt, wie ein Experiment funktioniert) entstanden sind. Dieser Einstellungswechsel war bei Mädchen und Jungen gleichermaßen festzustellen. Die erstellten Unterrichtsmaterialien fördern das Interesse der SchülerInnen an selbständigem Problemlösen und selbständigem Suchen nach Erklärungen, indem Situationen geschaffen werden, in denen die SchülerInnen ihre eigene Kompetenz in eben diesen – im Unterricht oft vernachlässigten – Bereichen erleben können. Positive Kontakte mit naturwissenschaftlichem Arbeiten (z.B. durch forschend-begründendes Lernen) bereits im Volksschulalter ist eine Voraussetzung, um dem speziell ab dem 11. Lebensjahr abnehmendem Interesse an Naturwissenschaften entgegenzuwirken

Eine Analyse der semi-strukturierten Interviews zeigt, dass sich das naturwissenschaftliche Verständnis der SchülerInnen zum Thema Pflanzenwachstum wesentlich weiterentwickelt hat. Alltagssprache (schlechte Luft, Erde) wurde durch wissenschaftliches Vokabular (CO<sub>2</sub> reiche Luft, Bodenminerale) ersetzt, Beschreibungen (Pflanzen brauchen Wasser, Licht, Erde) wurden durch Erklärungen (aus CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O und Licht macht die Pflanze Zucker, der dann zum Aufbau neuer Blätter verwendet wird) ersetzt, Alltagskonzepte (Pflanzen essen Erde) durch wissenschaftlich anerkannte Konzepte (Fotosynthese ist für Pflanzenwachstum verantwortlich). Die Vermittlung des Themas Fotosynthese im Kontext Pflanzenwachstum halte ich für eine für 9-12 jährige SchülerInnen sehr geeignete, da sie vorhandene SchülerInnenvorstellungen zum Thema Pflanzenwachstum berücksichtigt und erweitert. Durch eine reine Fokussierung auf die

Fotosynthesegleichung mit Zucker oder Stärke als Endprodukt, besteht die Gefahr, dass die SchülerInnen die Bedeutung der Fotosynthese für das Pflanzenwachstum und somit auch die ökologische Bedeutung der Fotosynthese nicht verstehen. Die Ergebnisse des Posttest 2 zeigten, dass die SchülerInnen auch fünf Monate nach dem Projekt die wichtigsten Fragen zum Thema Fotosynthese richtig beantworten konnten. Die intensive Auseinandersetzung mit dem Thema führte zu einem nachhaltigen Wissenszuwachs. Der relative Wissenszuwachs der schwachen SchülerInnen unterschied sich nicht wesentlich vom Wissenszuwachs der guten SchülerInnen. Dies ist ein Indiz dafür, dass die schwachen SchülerInnen durch die offenen Lernumgebungen nicht überfordert waren.

Bei der Arbeit mit den erstellten Unterrichtsmaterialien verwenden die SchülerInnen verschiedenste naturwissenschaftliche Methoden. Diese reichen von einfachen „handwerklichen“ Tätigkeiten wie Pipettieren, Messen oder Mikroskopieren bis hin zu anspruchsvollen Tätigkeiten wie selbständigem Planen und Durchführen von Experimenten. Bei den Fragen zu Faktoren wissenschaftlichen Experimentierens schneiden die SchülerInnen fünf Monate nach dem Projekt wesentlich besser ab als der österreichische Durchschnitt bei TIMMS 1995 (Fragestellungen wurde übernommen) und ein Prä/Post1/Post2 Vergleich zeigt signifikante Zuwächse.

Die erstellten Unterrichtsmaterialien fördern durch die verschiedenen einbezogenen Methoden (Vorhersagen-Beobachten-Begründen, *concept cartoons*) das wissenschaftliche Argumentieren und Begründen der SchülerInnen. Beim Begründen werden sowohl wissenschaftlich eindeutige Argumente verwendet als auch Argumente, die die Aussagen der SchülerInnen zwar untermauern, jedoch aus der naturwissenschaftlichen Perspektive nicht eindeutig sind. Wissenschaftliches Begründen und Argumentieren muss ein zentraler Punkt forschenden Lernens sein und ist bereits in der Volksschule möglich. Forschendes Lernen in der Volksschule soll Spaß machen, soll aber auch Denkprozesse anregen, die zu Erklärungen von Seiten der SchülerInnen führen. Dies geschieht nicht einfach durch die Möglichkeit, zu experimentieren, sondern muss geplant und unterstützt werden. Dabei hilfreich sind Schreibvorlagen, die den Fokus nicht nur auf Was-Fragen legen, sondern Warum-Fragen in den Mittelpunkt rücken. Was ist bei einem bestimmten Experiment passiert? Warum ist das deiner Meinung nach passiert?

Die Analyse der *evidence maps* zeigte, dass die SchülerInnen unmittelbar nach dem Projektunterricht größtenteils keine Probleme hatten, die Prozesse des Erkenntnisgewinnes den in den *concept maps* abgebildeten Konzepten zuzuordnen. Die Interviewanalysen zeigten, dass die SchülerInnen auch fünf Monate nach dem Projektunterricht noch genau beschreiben konnten, was sie bei den jeweiligen Experimenten gemacht haben und was sie bei diesen Experimenten rausgefunden haben. Ein eindeutiges Erkenntnis-Evidenz-Verständnis zeigten jedoch nur die Gruppe der sehr guten SchülerInnen. Diese Gruppe konnte klar zwischen Theorie und Beweis unterscheiden und verstand den Zusammenhang zwischen Theorie und Evidenz. Die Gruppen der mittelmäßigen und schwachen SchülerInnen wusste zwar, was sie bei den jeweiligen Experimenten gemacht hatten und was sie mit dem jeweiligen Experiment rausgefunden hatten, die kausale Begründung für diese Erkenntnisse auf Basis der durchgeführten Experimente bereitete diesen Gruppen jedoch Schwierigkeiten. Sie verstanden die Logik der Prüfung von Aussagen und den Zusammenhang von Theorie und Evidenz nur teilweise.

Ziel aktueller Reformen des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist die Vermittlung eines naturwissenschaftlichen Grundverständnisses. Dabei spielt forschendes Lernen eine zentrale Rolle. Forschendes Lernen wird jedoch besonders in der Volksschule oft mit dem Nachkochen von Versuchsanleitungen verwechselt oder mit planlosem Experimentieren, bei dem das aktive Tun in den Mittelpunkt gerückt und dabei das eigentliche Ziel des

Experimentierens – nämlich das Suchen nach auf Daten basierenden Erklärungen – vernachlässigt wird.

Experimente sind meiner Meinung nach ein wichtiger Bestandteil eines zeitgemäßen Sachunterrichtes. Sie können eigenständiges Suchen nach Erklärungen fördern, müssen es jedoch nicht. Versuchsanleitungen, die den SchülerInnen Schritt für Schritt vorgeben, was zu tun ist und anschließend auch noch Erklärungen für das Beobachtete liefern, fördern im besten Fall verschiedene manuelle Arbeitstechniken wie Pipettieren oder Mikroskopieren, jedoch sicherlich nicht eigene konstruktive Denkprozesse.

Ziel eines naturwissenschaftlich orientierten Sachunterrichts sollte es sein, Lernumgebungen zu schaffen, in denen die/der Lernende die Möglichkeit hat, selbständig zu experimentieren, zu forschen und zu manipulieren. Wenn dieses Experimentieren jedoch nur auf der Ebene manueller Arbeitstechniken stehen bleibt, wenn die einzelnen Experimente nicht auch Denkprozesse anregen und zu Erklärungen von Seiten der Lernenden führen, führen diese *hands-on* Aktivitäten wahrscheinlich weder zu einem tieferen Verständnis des erforschten Sachverhaltes noch zu einem Verständnis der wissenschaftlichen Arbeitsweise. *Hands-on* alleine führt weder zu Verständnis noch zu eigenen kognitiven Prozessen, wenn diese Aktivitäten nicht auch ein *minds-on* beinhalten.

Die bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien gewählte enge Kombination von *hands-on* und *minds-on*, die Idee des forschend-begründenden Lernens halte ich für einen vielversprechender Ansatz, um den SchülerInnen ein naturwissenschaftliches Grundverständnis zu vermitteln, das über das Wiedergeben von naturwissenschaftlichen Theorien und Fakten hinausgeht und auch ein Verständnis für die Prozesse des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnes inkludiert.

## 7 Literaturverzeichnis

- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82, 417-436.
- Abd-el-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N., Mamlok-Naaman, R., Niaz, M., Treagust, D., Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International Perspectives. *Science Education* 88: 397-419.
- Abd-El-Khalick, F., Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education* 22:665-702.
- Abd-el-Khalik, F., Bell, R. L., Schwarz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* 39:497-521.
- Abell, S. K., Smith, D. C. (1994). What is science? Preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education* 16:475-487.
- Allen, S. (2004). Designs for learning: Studying science museum exhibits that do more than entertain. *Science Education* 88:17-33.
- Altrichter, H., Posch, P. (2007). Lehrerinnen und Lehrer erforschen ihren Unterricht. Unterrichtsentwicklung und Unterrichtsevaluation durch Aktionsforschung. 4. Auflage. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Ball, D.L., und Cohen, D.K. (1996). Reform by the book: What is –or might be – the role of curriculum materials in teacher learning and instructional reform? *Educational researcher* 25: 6-8.
- Barab, S.A., Luehmann, A.L. (2003). Building sustainable science curriculum: acknowledging and accomodating local adaptation. *Science Education* 87: 454-467.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I., Köller, O., Neubrand, J. (1997). TIMMS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im Vergleich. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Bos, W., Brockmann, J., Gruehn, S., Klieme, E., Köller, O., Lehmann, R., Lehrke, M., Neubrand, J., Schnabel, K. U. & Watermann, R. (2000). TIMSS III Deutschland. Der Abschlussbericht. Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse der Dritten Internationalen Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie zur mathematischen und naturwissenschaftlichen Bildung am Ende der Schullaufbahn. Berlin.
- Bayrhuber, H., Unterbrunner, U. (2000). Lehren und Lernen im Biologieunterricht. Innsbruck, Wien, München: Studien Verlag.
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A., Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching* 40:487-509.
- Bell, R. L., Lederman, N. G. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education* 87:352-377.

Bernard, R.H. (2002). Research methods in Anthropology: qualitative and quantitative approaches. 3. Auflage. Walnut Creek: AltaMira.

Bianchini, J. A., Colburn, A. (2000). Teaching the nature of science through inquiry to prospective elementary teacher: A tale of two researchers. *Journal of Research in Science Teaching* 37:177-209.

bm:bwk (2005). Lehrplan der Volksschule. Verfügbar unter: <http://www.bmukk.gv.at/schulen/unterricht/lp/Volksschullehrplan3911.xml>, letzter Zugriff: März 2008.

bm:bwk (2007). „Geschlechtergerechtes Formulieren.“ Verfügbar unter: <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/7108/PDFzuPubID403.pdf>, letzter Zugriff: September 2007.

Brandt, L. E., J. , Hellemans, Heerman, L. , Couvenberg, I. , Volckaert, L. , Morisse, H. (2001). The impact of concept mapping and visualization on the learning of secondary school chemistry students. *International Journal of Science Education* 23:1303-1313.

Borgatti, S.P., Everett, M.G. Freeman, L.C. (2002). Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis. Harvard, MA: Analytic Technologies.

Bortz, J. (2003). Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung. Leitfaden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben (2te Auflage). Berlin:Springer.

Bowker, R. (2002a). Making the most out of Eden. *Primary Science Review* 75: 4-7.

Bowker, R. (2002b). Evaluating teaching and learning strategies at the Eden Project. *Evaluation and Research in Education* 16(3): 123-135.

Breakwell, G.M., Beardell, S. (1992). Gender, parental and peer influence upon science attitudes and activities. *Public understanding of science*, 1:183-197.

Bybee, R.W. (2002). Scientific literacy – Mythos oder Realität. In: Gräber, W., Nentwig, P. Koballa, T., Evans, R. (Herausgeber). *Scientific Literacy*. Opladen: Leske+Budrich.

Bybee, R.W. (1997). Achieving scientific literacy: From promise to practice. Portsmouth:Heinemann

Canal, P. (1999). Photosynthesis and “inverse respiration” in plants: an inevitable misconception? *International Journal of Science Education*, 21: 363-371.

Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., Unger, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': A study of grade 7th students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11: 514-529.

Carlsson, B. (2002a). Ecological understanding 1: Ways of experiencing photosynthesis. *International Journal of Science Education* 24:681-700.

Carlsson, B. (2002b). Ecological understanding 2: Transformation – a key to ecological understanding. *International Journal of Science Education* 24:701-715.

Colley, A. Comber, S., Hargreaves, D. (1994). School subject preference of pupils in single sex and co-educational secondary schools. *Educational studies*, 20: 379-386.

Cox-Peterson, A.M., Marsh, D.B., Chisel, J., Flexer, L.. (2003). Investigation of guided school tours, student learning, and science reform recommendation at a museum of natural history. *Journal of Research in Science Teaching* 40:200-218.

Craven I., J. A., Hand, B., Prain, V. (2002). Assessing explicit and tacit conceptions of the nature of science among preservice elementary teachers. *International Journal of Science Education* 24:785-802.

DeBoer, G. (2000). Scientific Literacy: Another Look at Its Historical and Contemporary Meanings and Its Relationship to Science Education Reform. *Journal of Research in Science Teaching* 37:582-601.

Dewey, J. (1910). Science as subject matter and as method. *Science* 31 (787):121-127. Reprint in *Science and Education* (1995) 4 (4): 351-398.

Dhingra, K. (2003). Thinking about television science: How students understand the nature of science from different program genres. *Journal of Research in Science Teaching* 40:234-256.

Driver, R., Newton, P., Osborne, P. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education* 84:287-312.

Duit, R., Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education* 25:671-688.

Duschl, R. (2000). Making the nature of science explicit. In: R. Millar, Leach, J., Osborne, J. (Herausgeber), *Improving science education*. Buckingham: Open University Press.

Eick, C. J. (2000). Inquiry, nature of science, and evaluation: The need for a more complex pedagogical content knowledge in science teaching. *Electronic Journal of Science Education* 4:1-14.

Elbourne, D., Gough, D. (2005). Fit for purpose: Appropriate methods to provide evidence to inform users of research in education, with special references to randomised controlled trials and systematic research synthesis. In: Bennett, J. H., Millar, J., Waddington, R., (Herausgeber). *Evaluation as a tool for improving science education*. Münster: Waxmann.

Elster, D. (2002). Vom Lerngewinn der Studierenden bei schulisch-universitären Kooperationsprojekten. Verfügbar unter: <http://imst.uni-klu.ac.at/schwerpunktprogramme/s4/innovationen>, letzter Zugriff: Mai 2007

Ergazaki, M., V. Komis, Zogza, V. (2005). High-school students' reasoning while constructing plant growth models in a computer-supported educational environment. *International Journal of Science Education* 27:909-933

Europäische Kommission (2004). Europe needs more scientists: report by the high level group on increasing human resources for science and technology. Brüssel:Europäische Kommission.

Falk, J. H., Dierking, L.D. (2000). Learning from Museums. Walnut Creek: Alta Mira Press.

Falk, J. H., Adelman, L. M. (2003). Investigating the impact of prior knowledge and interest on aquarium visitor learning. *Journal of Research in Science Teaching* 40:163-176.

Falk, J. (2004). The director's cut: Toward an improved understanding of learning from museums. *Science Education* 88:83-96.

Falk, J., Storksdieck, M. (2005). Using the contextual model of learning to understand visitor learning from a science center exhibition. *Science Education* 89:744-778.

Fischer, H. (1998). Scientific Literacy und Physiklernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*:41-52.

Fischman, B.J., Krajcik, J. (2003). What does it mean to create sustainable science curriculum innovations? A Commentary. *Science Education* 87:562-573.

Flick, U. (2002). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*. Hamburg: Rowohlt.

Freeman, L. A., Jessup, L. M. (2004). The power and benefits of concept mapping: measuring use, usefulness, ease of use, and satisfaction. *International Journal of Science Education* 26:151-169.

Glaser, B., Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*. New York: Aldine.

Glowinski, I. (2007). Schülerlabore im Themenbereich Molekularbiologie als Interessensfördernde Lernumgebungen. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Verfügbar unter: [www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/publikationen.html](http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/publikationen.html) letzter Zugriff Mai 2008.

Gräber, W., Nentwig, P., Koballa, T., Evans, R. (2002). *Scientific Literacy*. Opladen: Leske+Budrich.

Gräber, W., Nentwig, P., Nicolson, P. (2002) Scientific Literacy – Von der Theorie zur Praxis. In: Gräber, W., Nentwig, P., Koballa, T., Evans, R. (Herausgeber). *Scientific Literacy*. Opladen: Leske+Budrich.

Gräsel, C. (2000). Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen. In: Bayrhuber, H., Unterbrunner, U. (Herausgeber). *Lehren und Lernen im Biologieunterricht*. Innsbruck, Wien, München: Studien Verlag.

Gräsel, C., Mandl, H. (1993). Förderung des Erwerbs diagnostischer Strategien in fallbasierten Lernumgebungen. *Unterrichtswissenschaft* 21:355-370.

Greinstetter, R. (2006). Forschen lernen. *Erziehung und Unterricht* 7-8:819-825.

Gruber, H., Mandl, H., Renkl, A. (2000). Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? In: Mandl, H., Gerstenmaier, J. (Herausgeber). *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Handlungsansätze*. Göttingen: Hogrefe-Verlag.

Gromadecki, U., Mikelskis-Seifert, S., Duit, R. (2007). Argumentation in elementary instruction- findings on students' preferences of arguments in physical contexts. Paper presented at the ESERA (European Science Education Research Association) Conference 2007, Malmö, Sweden, 21-25 August 2007.

Grygier, P., Günther, J., Kircher, E. (2004). *Über Naturwissenschaften lernen. Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule*. Hohengehren: Schneider Verlag.

Hadden, R.A., Johnstone, A.H. (1983). Secondary school pupils' attitudes to science: the year of erosion. *European Journal of Science Education*, 5: 309 – 318.

- Hanneman, R. A., Riddle, M. (2005). Introduction to social network methods. Riverside, CA: University of California. Verfügbar unter <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/> letzter Zugriff Jänner 2007.
- Harlen, W. (1997). Primary teachers' understanding in science and its impact in the classroom. *Research in Science Education*, 27: 323-337.
- Harlen, W. (1999). Effective teaching in Science. SCRE Publication 142. Verfügbar unter: <http://www.scre.ac.uk/pdf/science.pdf>, letzter Zugriff März 2006.
- Harlen, W. (2000). The teaching of science in primary schools. London: David Fulton
- Havard, N. (1996). Student attitudes to studying A-level sciences. *Public Understanding of science* 5(4):321-330.
- Heath, L. (1999). Do we always know what is best for learners? *Primary science review*, Mar-Apr: 30-32.
- Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 70:33-40
- Hogan, K. (2000). Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science. *Science Education* 84:51-70.
- IEA (1997). Science Achievement in the primary school years: IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS). IEA.
- Jansen, D. (1999). Einführung in die Netzwerkanalyse. Grundlagen, Methoden, Anwendungen. Oppladen:Leske+Budrich
- Jones, G., Howe, A., Rua, M. (2000). Gender difference in students' experiences, interests and attitudes towards science and scientists. *Science Education*, 84:180-192.
- Jorgensen, D. L. (1989). Participant Observation: A Methodology for Human Studies, Newbury Park: Sage Publications.
- Kapelari, S., Bertsch, Ch., Sladky-Meraner, S. Christanell, A., Johnson, S., Marsh, G., Bromley, G., Welsby, C., Lear, K., Kitschke, M., Kossev, K., Grancharova, V. Petkova, L., Bonomi, C., Campegiani, S. (2007). Pflanzenforscher unterwegs – in der Schule und im Botanischen Garten. Innsbruck: University press.
- Kattmann, U. (2000). Lernmotivation und Interesse im Biologieunterricht. In: Bayrhuber, H., Unterbrunner, U. (Herausgeber). Lehren und Lernen im Biologieunterricht. Innsbruck, Wien, München: Studien Verlag.
- Kelly, J. (2000). Rethinking the elementary science methods course: A case for content, pedagogy, and informal science education. *International Journal of Science Education* 22:755-777.
- Keogh, B., Naylor, S., Wilson, C. (1998). Concept cartoons: A new perspective on physics education. *Physics Education* 33:219-224.
- Keogh, B., Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: An evaluation. *International Journal of Science Education* 21:431-446.

Keogh, B., Naylor, S., Downing, B. (2001). An empirical study of argumentation in primary science, using concept cartoons as the stimulus. In: Psillos, P., Kariotoglou, P. , Tselfes, V. , Bisdikian, G. , Fassoulopoulos, G. , Hatzikraniotis, E. , Kallery, M. *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society, Vol. 1*. Thessaloniki, Greece: Aristotle University of Thessaloniki.

Keogh, B., Naylor, S., de Bóo, M., Barnes, J. (2002). PGCE Professional Workbook: Primary Science. Exeter: Learning Matters Ltd.

Khale, J.B., Lakes, M.K. (1983). The myth of equality in science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 20:131-140.

Kinchin, I. M. (2000a). Concept mapping in biology. *Journal of Biological Education* 34:61-68.

—. (2000b). Concept-mapping activities to help students understand photosynthesis - and teachers understand students. *School Science Review* 82:11-14.

—. (2000c). Confronting problems presented by photosynthesis. *School Science Review* 81:69-76.

—. (2000d). Using concept maps to reveal understanding: A two-tier analysis. *School Science Review* 81:41-46.

—. (2001). If concept mapping is so helpful to learning biology, why aren't we all doing it? *International Journal of Science Education* 23:1257-1270.

Kjeldsen, L. T. (2005). Upper secondary students' views of the Nature of Science: The influence of activities at a research centre. In: Fischer, H.E. (Herausgeber) *Developing standards in research on science education*. London: Taylor & Francis Group.

Klein, R.L. (1994). Über das Interesse an Pflanzen. Wien: Lang.

Krapp, A. (1992). Das Interessenkonstrukt. Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In: Krapp, A. und Prenzel, M. (Hrsg.) *Interesse, Lernen, Leistung*. Münster: Aschendorff

Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interesse im Unterricht. *Psychologie.Erziehung.Unterricht* 44:185-201

Krapp, A. (2005). Basic needs and the development of interest and intrinsic motivational orientations. *Learning and Instruction*, 15, 381-395

Leach, J., Driver, R., Scott, P., Wood-Robinson, C. (1996). Children's ideas about ecology 2: ideas found in children aged 5–16 about the cycling of matter. *International Journal of Science Education*, 18(1):19–34.

Leach, J., Driver, R. , Millar, R. , Scott, P. (1997). A study of progression in learning about 'the nature of science': Issues of conceptualisation and methodology. *International Journal of Science Education* 19:147-166.

Leach, J. (1999). Students' understanding of the co-ordination of theory and evidence in science. *International Journal of Science Education* 21:789-806.

Lederman, N. G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching* 36:916-929.

Lewalter, D., Krapp, A., Schreyer, I., Wild, K.P. (1998). Die Bedeutsamkeit des Erlebens von Kompetenz, Autonomie und sozialer Eingebundenheit für die Entwicklung berufsspezifischer Interessen. In: Beck, K. und Dubs, R. (Hrsg.) Kompetenzentwicklung in der Berufserziehung; *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*. Beiheft Nr. 14, 143-168.

Lewalter, D., Wild, K.P., Krapp, A. (2001). Interessenentwicklung in der beruflichen Ausbildung. In: Beck, K. (Hrsg.) *Lehren und Lernen in der beruflichen Erstausbildung*. Opladen: Leske-Budrich

Limon, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction* 11:357-380.

Lin, C.-Y., Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education* 25:1529-1544.

Lin, H.-S., Chiu, H.-L., Chou, C.-Y. (2004). Student understanding of the nature of science and their problem-solving strategies. *International Journal of Science Education* 26:101-112.

Lindemann-Matthies, P. (2005). 'Loveable' mammals and 'lifeless' plants: How children's interest in common local organisms can be enhanced through observation of nature. *International Journal of Science Education* 27:655-677.

Liu, X. (2004). Using concept mapping for assessing and promoting relational conceptual change in science. *Science Education* 88:373-396.

Löwe, B. (1992). *Biologieunterricht und Schülerinteressen an Biologie*. Weinheim: Studienverlag.

Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zum qualitativen Denken*. 5. Auflage. Weinheim: Beltz

Marmaroti, P., Galanopoulou, D. (2006). Pupils' Understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28, 4:383-403.

Marquardt-Mau, B. (2001). Scientific Literacy im Sachunterricht? In: Cech, D., Feige, B., Kahlert, J., Löffler, G., Schreier, H., Schwier, H.J., Stoltenberg, U. (Herausgeber). *Die Aktualität der Pädagogik Martin Wagenscheins für den Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Mayer, J. (2002). Vom Schulversuch zum Forschenden Unterricht - Wissenschaftliches Arbeiten im Biologieunterricht am Beispiel der Fotosynthese. Materialien zum BLK-Programm "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts" Kiel:IPN. Verfügbar unter: [www.blk.uni-bayreuth.de/materialien/ipn.html](http://www.blk.uni-bayreuth.de/materialien/ipn.html), letzter Zugriff: März 2007

Millar, R. (1996). Designing a curriculum for public understanding of science. *Education in Science*, 8-10.

Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., Novak, J. D. (2001). Assessing understanding in biology. *Journal of Biological Education* 35:118-124.

Murcia, K., Schibeci, R. (1999). Primary student teachers' conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education* 21:1123-1140.

Murphy, C., Beggs, J. (2001). Pupils' attitudes, perceptions and understanding of primary science: comparison between Northern Irish and English Schools. Paper presented at the Annual Meeting of the British Educational Research Association, Leeds, 14-16 September

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.

Naylor, S., Keogh, B. (1999). Constructivism in the classroom: Theory into Practice. *Journal of Science Teacher Education* 10 (2):93-106.

Novak, J. D. (1989). Concept maps and vee diagrams: Two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. Ithaca: Cornell University. Department of Education.

—. (1995). "Concept mapping: A strategy for organizing knowledge," In: Glynn, S.M., Duit, R. (Herausgeber). *Learning science in the schools: Research reforming practice*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Newton, P., Driver, R., Osborne, J. (1999) The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21, 5:553-576.

OECD (2006). Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies Policy Report. Verfügbar unter <http://www.oecd.org/dataoecd/16/30/36645825.pdf>, letzter Zugriff Jänner 2007

OECD (2006). Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy: A framework for PISA 2006. Verfügbar unter <http://www.oecd.org/dataoecd/63/35/37464175.pdf>, letzter Zugriff März 2008.

Osborne, J., Simon, S. (1996). Primary Science: past and future directions. *Studies in Science Education*. 26:99-147.

Osborne, J., Erduran, S., Simon, S., Monk, M. (2001). Enhancing the quality of argument in school science. *School Science Review*, 82, 301:63-70.

Osborne, J., Simon, S., Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25, 9:1049-1079.

Osborne, J., Erduran, S. and Simon, S. (2004) Ideas, Evidence and Argument in Science. In-service Training Pack, Resource Pack and Video. London: Nuffield/King's College, London.

Osborne, J., Dillon, J. (2008). Science Education in Europe: Critical Reflections. A Report to the Nuffield Foundation. Verfügbar unter: [http://www.nuffieldfoundation.org/fileLibrary/pdf/Sci\\_Ed\\_in\\_Europe\\_Report\\_Final.pdf](http://www.nuffieldfoundation.org/fileLibrary/pdf/Sci_Ed_in_Europe_Report_Final.pdf) letzter Zugriff: März 2008

Parkinson, J., Hendley, D., Tanner, H., Stabels, A. (1998). Pupils' attitudes to science in Key Stage 3 of the National Curriculum: a study of pupils in South Wales. *Research in Science and Technological Education*, 16(2):165-176.

Pell, T., Jarvis, T. (2001). Developing attitudes to science scales for use with children of ages from five to eleven years. *International Journal of Science Education*, 23, 8:847-862.

Pintó, R. (2004). Introducing Curriculum Innovation in Science: identifying teachers' transformations and the design of related teacher education. *Science Education* 89: 1-12.

Primer, B. (2006). Deutschsprachige Verfahren der Erfassung von epistemologischen Überzeugungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12:159-175.

Pokorny, B. (2003). Science for fun. IMST Projektbericht. Verfügbar unter [http://imst.uniklu.ac.at/materialien/2003/s4\\_i\\_paedag\\_erzdioezese\\_wien\\_lang\\_151203.pdf](http://imst.uniklu.ac.at/materialien/2003/s4_i_paedag_erzdioezese_wien_lang_151203.pdf) , letzter Zugriff März 2008

Reinmann-Rothmeier, G., Mandl, H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: Krapp, A., Weidemann, B. (Herausgeber). *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Renkl, A. (1997). Lernen durch Lehren: Zentrale Wirkmechanismen beim kooperativen Lernen. Wiesbaden:Deutscher Universitätsverlag.

Rennie, L. J., Feher, E., Dierking, L. D., Falk, J. H. (2003.) Toward an agenda for advancing research on science learning in out-of-school settings. *Journal of Research in Science Teaching* 40:112-120.

Rennie, L. J., Johnston, D. J. (2004). The nature of learning and its implications for research on learning from museums. *Science Education* 88:4-16.

Rice, D. C., Ryan, J. M. , Samson, S. M. (1999). Using concept maps to assess student learning in the science classroom: Must different methods compete? *Journal of Research in Science Teaching* 35:1103-1128.

Rocard, M., Csemerly, P., Jorde, D. Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., Hemmo, V. (2007). Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe. Brussels:Directorate General for Research, Science, Economy and Society.

Rogers, E. M. (2003). Diffusion of innovations. New York: Free Press.

Sandoval, W.A. (2003). The inquiry paradox: why doing science doesn't necessarily change ideas about science. In: Constantinou, C. P., Zacharia, Z. C. (Herausgeber): *Proceedings of the Sixth International. Computer-Based Learning in Science Conference*. Nicosia, Zypern.

Sandoval, W. A., Reiser, B. J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education* 88:345-372.

Schmidkunz, H., Lindemann, H. (2003). Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Hohenwarsleben: WestarpWissenschaften.

Schmitz, A. (2006). Interessens- und Wissensentwicklung bei Schülern und Schülerinnen der Sek II in außerschulischen Lernumgebungen am Beispiel von NaT-Working "Meeresforschung". Dissertation am IPN Kiel.

Schradt, F. (2005). Neue Wege im naturwissenschaftlich orientierten Sachunterricht im Erfahrungs- und Lernbereich Technik an der Volksschule (Science4Kids). IMST Projektbericht. Verfügbar unter <http://imst.uni->

Schneider, J. W., Conrad, P. (1983). *Having Epilepsy: The Experience and Control of Illness*. Philadelphia: Temple University Press.

Scott, J. (1991). *Social network analysis. A Handbook*. London: Sage.

Shamos, M. (1995). *The myth of scientific literacy*. New Brunswick: Rutgers University Press.

Shamos, M. (2002). Durch Prozesse ein Bewußtsein für die Naturwissenschaften entwickeln. In: Gräber, W., Nentwig, P. Koballa, T., Evans, R. (Herausgeber). *Scientific Literacy*. Opladen: Leske+Budrich.

Sjoberg, S. (2000). Cross-cultural evidence and perspectives on pupils' interests, experiences and perceptions. Oslo: Department of teacher education and school development, University of Oslo.

Sjoberg, S., Imsen, G. (1988). "Gender and science education," In: Fensham, P. (Herausgeber). *Development and Dilemmas in science education*. London: Falmer Press.

Sodian, B., Thoermer, C. Kircher, E., Grygier, P., Günther, J. (2002). Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. *Zeitschrift für Pädagogik* 45: 192-206.

Solomon, J., Black, P., Oldham, V., Stuart, H. (1985). The pupils' view of electricity. *European Journal of Science Education* 7:281-294.

Squire, K.D., Makinster, J.G., Barnett, M., Luehmann, A. L. (2003). Designed Curriculum and Local Culture: Acknowledging the primacy of classroom culture. *Science Education* 87: 468-489.

Stavy, R., Eisen, Y., Yaakobi, D. (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of science education*, 9:105-115.

Stoddart, T., Abrams, R. , Gasper, E. , Canady, D. (2000). Concept maps as assessment in science inquiry learning - a report of methodology. *International Journal of Science Education* 22:1221-1246.

Strauss, A.L., Corbin, J.M. (1990). *Basics of qualitative research. Grounded theory procedures and techniques*. Newbury Park: Sage.

Wandersee, J. (1983). Students misconceptions about photosynthesis: A cross age study. In: H. Helm und J. Novak (Herausgeber). *Proceedings of the international Seminar: Misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Cornell University.

Washeed, T., Lucas, A. (1992). Understanding interrelated topics: Photosynthesis at age 14+. *Journal of biological education*, 26:193-199.

White, B. Y., Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition & Instruction*, 16(1): 3-118.

Wilde, M., Bätz, K. (2006). Einfluss unterrichtlicher Vorbereitung auf das Lernen im Naturkundemuseum. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12:77-89.

Widodo, A., Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10:233-255.

Wood-Robinson, C. (1991). Young people's ideas about plants. *Studies in Science Education*, 19:119-135.

Wu, Y.-T., Tsai, C.S. (2005). Effects of constructivist-oriented instruction on elementary school students' cognitive structures. *Journal of Biological Education* 39:113-119.

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konzept der <i>scientific literacy</i> nach Gräber, Nentwig und Nicolson 2002. ....	16
Abbildung 2: Interesse als Person-Gegenstands-Relation (Krapp 1998).....	22
Abbildung 3: Interessensgenese als dauerhafte Disposition (Kattmann 2000).....	24
Abbildung 4: Experimentieranweisung aus einem in Österreich weit verbreiteten Sachunterrichtsbuch .....	29
Abbildung 5: Mikro-konzeptuelle „Lehrer-Erklärung“ versus makro-phänomenologische SchülerInnenvorstellungen zum Thema Fotosynthese/Pflanzenwachstum	38
Abbildung 6: Beispiel für Information für die LehrerInnen .....	45
Abbildung 7: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 1: die brennende Kerze): a, b, e, f, g: SchülerInnen bei Versuchen zu Sauerstoffgehalt in Umgebungsluft und Ausatemungsluft; c: Ergebnisse der einzelnen Gruppen werden verglichen; d: Zusammensetzung der Luft wird an der Tafel erarbeitet.....	46
Abbildung 8: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 2: Kohlendioxidgehalt in Ausatemungsluft). a, d: Herstellen zweier identer Indikatorlösungen; b: Vorhersagen treffen; c: Ausatemungsluft wird in Indikatorlösung geblasen; e-i: wie kriege ich Umgebungsluft in die Indikatorlösung: durch Fächern, mithilfe der Pipette, mit einem mit Luft gefüllten Schnapsglas, mit Hilfe einer Nylontasche oder vielleicht doch mit einer Luftpumpe. ....	47
Abbildung 9: Nachspielen von Priestley's historischem Experiment. ....	48
Abbildung 10: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 4: Sauerstoffproduktion der Wasserpest); a, b: Sauerstoffproduktion in destilliertem Wasser, Leitungswasser und Mineralwasser; c, d: Sauerstoffproduktion bei Licht; e-f: Sauerstoffproduktion in der Dunkelheit (ob man bei Bild g und h die Sauerstoffproduktion beobachten kann, bleibt offen).....	49
Abbildung 11: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 5: mein eigener Sauerstoffverbrauch). a: Vorhersagen treffen – wie groß muss eine Grünfläche sein, die genug Sauerstoff produziert, damit ein erwachsener Mensch 24 Stunden atmen kann? b: Abmessen des benötigten Flächenumfangs; c: Abstecken der Flächen; d-f: Durchatmen (die Sauerstoffproduktion der Fläche in Bild f wird wohl eher nicht für 24 Stunden reichen).....	50
Abbildung 12: Bildgeschichte zur Bedeutung des Bodens für das Pflanzenwachstum; die Bilder wurden von den SchülerInnen ausgeschnitten und in die richtige Reihenfolge gebracht. ....	51
Abbildung 13: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 8: Stärkenachweis und die Bedeutung von Blattgrün im Botanischen Garten); a, b: Wiederholung der Inhalte aus Modul 7; c: Versuchsauswertung des Stärkenachweises in panaschierten Blättern; d: Kochender Alkohol stinkt;	

e: Stärkenachweis in teilweise abgedunkelten Blättern; f: auch in roten Blättern ist Blattgrün vorhanden.....	53
Abbildung 14: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 9: wie kommt Wasser und Kohlendioxid ins Blatt; a, b: SchülerInnen auf der Suche nach Blattnerven; c, d, f, g: Schülerinnen beim Isolieren und Mikroskopieren der Blattnerven; e: Nachweis der Spaltöffnungen in einem Seerosenblatt. ....	54
Abbildung 15: SchülerInnen beim Arbeiten mit den erstellten Materialien (Modul 10: Evidence mapping); a-d: SchülerInnen beim Erstellen der <i>concept maps</i> ; e: SchülerInnen beim Zuordnen der Fotos zur <i>concept map</i> ; f: Schülerinnen präsentieren ihre <i>evidence map</i> in der Klasse. ....	55
Abbildung 16: <i>concept cartoon</i> zu der Frage, ob Pflanzen Licht brauchen, um Sauerstoff zu produzieren .....	58
Abbildung 17: Struktur ein Concept Map (Schmitz 2006) .....	61
Abbildung 18: <i>Evidence map</i> einer Schülerinnengruppe .....	63
Abbildung 19: Schreibvorlage, um den Prozess des wissenschaftlichen Begründens zu unterstützen .....	63
Abbildung 20: Alter der am Projekt beteiligten SchülerInnen .....	70
Abbildung 21: Beispiel für die Gruppeneinteilung auf Basis der Kriterien Leistungshomogenität und sozialer Klassenstruktur (Kreise = männlich, Quadrate = weiblich; blau = sehr gute SchülerInnen; rot = mittelmäßige SchülerInnen; schwarz = eher schwächere SchülerInnen); die mit Nummern markierten Rechtecke entsprechen den einzelnen Gruppen. ....	72
Abbildung 22: Untersuchungsdesign und Verwendung der Fragebögen.....	74
Abbildung 23: Frage zu den Kriterien eines wissenschaftlichen Experiments (Kriterium: Kontrollgruppe).....	75
Abbildung 24: Frage zu Kriterien eines wissenschaftlichen Experiments (Kriterium: Messbarkeit).....	75
Abbildung 25: Frage zu Kriterien eines wissenschaftlichen Experiments (Kriterium: nur einen Faktor ändern).....	76
Abbildung 26: Bilder, die bei den Fragen fünf Monate nach dem Projektunterricht als Beweisfotos verwendet wurden. a: Nachweis, dass in Ausatemungsluft weniger Sauerstoff ist als in Einatemungsluft; b: Nachweis, dass in Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid ist als in Einatemungsluft; c: Nachweis, dass Pflanzen Kohlendioxid brauchen, um Sauerstoff zu produzieren; d: Nachweis, dass Pflanzen Licht brauchen, um Sauerstoff zu produzieren; e: Nachweis, dass sich Pflanzen nicht ausschließlich von Erde „ernähren“ können .....	79
Abbildung 27: Lieblingsfach der SchülerInnen (n=84) in Prozent .....	90
Abbildung 28: Lieblingsfach der SchülerInnen (n=84), nach dem Geschlecht getrennt dargestellt.....	93

Abbildung 29: Brief einer Mutter an eine der LehrerInnen .....	98
Abbildung 30: Anzahl der SchülerInnen, die die aufgelisteten Fragen richtig beantworteten in Prozent; Prätest (n=84) .....	109
Abbildung 31: Antworten auf die Frage „Wie ernährt sich eine Pflanze?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84); BM = Bodenmineralien .....	115
Abbildung 32: Antworten auf die Frage „Was produziert eine Pflanze bei der Fotosynthese?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84); TZ= Traubenzucker .....	116
Abbildung 33: Antworten auf die Frage „Was braucht eine Pflanze für die Fotosynthese?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84) .....	116
Abbildung 34: Antworten auf die Frage „Wo findet Fotosynthese statt?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84) .....	117
Abbildung 35: Antworten auf die Frage „Wo ist Blattgrün vorhanden?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84) .....	118
Abbildung 36: Antworten auf die Frage „Wann findet Fotosynthese statt?“. Angaben in Prozent; Posttest, Posttest 2 (n=84) .....	120
Abbildung 37: Anzahl der SchülerInnen, die die aufgelisteten Fragen richtig beantworteten. Angaben in Prozent; Prätest, Posttest, Posttest 2 (n=84)	121
Abbildung 38: Anzahl an korrekt beantworteten Fragen; Pretest, Posttest, Posttest 2 (n=84) .....	122
Abbildung 39: Mittelwert der korrekt beantworteten Fragen (Prätest, Posttest, Posttest 2); aufgeteilt in drei Leistungsgruppen (n=84) .....	123
Abbildung 40: Differenz der vor und nach dem Projekt korrekten Antworten auf acht Fragen zum Thema „Fotosynthese“ und „Wie WissenschaftlerInnen arbeiten“; unterteilt in drei Leistungsgruppen .....	124
Abbildung 41: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt einer Schülerin der roten Gruppe .....	128
Abbildung 42: Verschiedene Versuchsanordnungen zum Messen der Sauerstoffproduktion bei Dunkelheit und Licht .....	130
Abbildung 43: Begründung einer Schülerin, die der Meinung war, dass Christian Recht hat	131
Abbildung 44: Begründung einer Schülerin, die der Meinung war, dass Antonia Recht hat .....	131
Abbildung 45: Ausgefüllte Schreibvorlage in Modul 1 .....	136
Abbildung 46: Ausgefüllte Schreibvorlage in Modul 2 .....	137
Abbildung 47: Ausgefüllte Schreibvorlage in Modul 3 .....	138
Abbildung 48: Ausgefüllte Schreibvorlage in Modul 6 .....	139
Abbildung 49: Ausgefülltes Arbeitsblatt für ein Experiment im botanischen Garten .....	140

Abbildung 50: 2 Dinge, die eine Schülerin in Modul zwei gelernt hat.....	141
Abbildung 51: Korrekte Antworten auf die Fragen zu ausgewählten Faktoren wissenschaftlichen Arbeitens vor dem Projektunterricht (Prätest), nach dem Projektunterricht (Posttest) und fünf Monate nach dem Projektunterricht (Posttest 2); n=84.....	144
Abbildung 52: Beispiel für eine <i>evidence map</i> . Alle Bilder wurden korrekt zugeordnet. Die Bilder zeigen links oben beginnend gegen den Urzeigersinn: Nachweis von Spaltöffnungen; Pflanzen braucht Licht, um Stärke zu produzieren; Pflanzen produzieren Sauerstoff; Umgebungsluft enthält wenig Kohlendioxid; Ausatemungsluft hat viel Kohlendioxid; Ausatemungsluft hat wenig Sauerstoff; Stärkenachweis in Blättern; Pflanzen benötigen Licht, um Sauerstoff zu produzieren; Freilegen der Blattnerven; Pflanzen produzieren Sauerstoff.....	148

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dimensionen von <i>scientific literacy</i> (Bybee 2002) .....	12
Tabelle 2: Gegenüberstellung von Prozessmerkmalen gemäßigt konstruktivistischer Lerntheorien und Prozessmerkmale des Lernens in informellen Bildungseinrichtungen nach der Kontexttheorie.....	42
Tabelle 3: Überblick über die einzelnen Module und die verwendeten Methoden .....	66
Tabelle 4: Charakterisierung der an der Testphase teilnehmenden SchülerInnen .....	71
Tabelle 5: Zusammenfassung Forschungsfrage, Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung, Zeitpunkt der Datenerhebung und Sample .....	89
Tabelle 6: SchülerInnen (n=84) bewerten ihr Interesse an Sachunterricht (1= stimmt genau, 2= stimmt eher schon, 3= stimmt eher nicht, 4= stimmt nicht).....	91
Tabelle 7: Interesse an verschiedenen Aktivitäten im Sachunterricht (1=sehr gern, 2= gern, 3= eher nicht gern, 4= nicht gern).....	92
Tabelle 8: SchülerInnen (n=84) bewerten ihr Interesse an Sachunterricht (1= stimmt genau, 2= stimmt eher schon, 3= stimmt eher nicht, 4= stimmt nicht); nach dem Geschlecht getrennt dargestellt .....	94
Tabelle 9: Interesse an verschiedenen Aktivitäten im Sachunterricht (1=sehr gern, 2= gern, 3= eher nicht gern, 4= nicht gern); Prätest; nach dem Geschlecht getrennt dargestellt .....	95
Tabelle 10: Interesse an verschiedenen Aktivitäten im Sachunterricht (1=sehr gern, 2=gern, 3= eher nicht gern, 4=nicht gern) vor (Prätest) und nach dem Projekt (Posttest); n=84.....	96
Tabelle 11: Interesse an lehrerInnenzentriertem und schülerInnenzentriertem Experimentieren (n=84) .....	97
Tabelle 12: Vergebene Codes und ihre Häufigkeit zum Thema Luft; Prätest (n=20).....	102
Tabelle 13: Vergebene Codes und ihre Häufigkeit zum Thema Pflanzenwachstum; Prätest (n=20).....	103
Tabelle 14: Häufigkeit der verwendeten Codes zum Thema Luft; Prätest und Posttest (n=20).....	110
Tabelle 15: Vergebene Codes zum Thema Pflanzenwachstum und ihre Häufigkeit; Prätest und Posttest (n=20).....	113
Tabelle 16: Analyse der <i>evidence maps</i> . Anzahl der korrekt, falsch oder nicht zugeordneten Fotos (n= 20 Gruppen; 5/Klasse); Anzahl der zuzuordnenden Fotos =200 (10/Gruppe);.....	149

## 10 Anhang

### 10.1 Fragebögen

#### 10.1.1 Prätest

##### ALLGEMEINE HINWEISE

Dieser Schülerfragebogen besteht aus einer Reihe von Fragen über dich und deine Meinung.

Lies jede Frage genau durch und beantworte sie so gut wie möglich. Bitte um Hilfe, wenn du etwas nicht verstehst oder du dir nicht sicher bist, wie man eine Frage beantwortet.

1. Wie heißt du?

Vorname: \_\_\_\_\_ Nachname: \_\_\_\_\_

2. Wann bist du geboren?

\_\_\_\_\_

3. Bist du ein Mädchen oder ein Junge?

- Mädchen  Junge

4. Bist du in Österreich geboren?

- Ja  Nein

4a. Wenn du nicht in Österreich geboren bist, wo bist du geboren?

\_\_\_\_\_

4b. Wie oft sprichst du zu Hause Deutsch?

- immer oder fast immer  
 manchmal  
 nie

5. Gehst du gerne in die Schule?

- Ja  Nein

6. Welches ist dein Lieblingsfach in der Schule?

\_\_\_\_\_

7. Wie sehr magst du Sachunterricht?

- sehr gern       eher gern       eher nicht gern       nicht gern

8. Welche Note hattest du letztes Jahr im Sachunterricht?

\_\_\_\_\_

9. Welche dieser Aussagen stimmt?

	<b>Stimmt genau</b>	<b>Stimmt eher schon</b>	<b>Stimmt eher nicht</b>	<b>Stimmt gar nicht</b>
a) Ich lerne gerne Sachunterricht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Sachunterricht ist langweilig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Sachunterricht ist ein leichtes Fach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Wie gerne machst du folgende Dinge im Sachunterricht?

	<b>Sehr gern</b>	<b>Eher gern</b>	<b>Eher nicht gern</b>	<b>Nicht gern</b>
Von der Tafel abschreiben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit Arbeitsblättern arbeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dem Lehrer zuschauen, wenn er ein Experiment macht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Selber Experimente machen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Lehrer erklärt uns, wie ein Experiment funktioniert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde selber heraus, wie ein Experiment funktioniert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit meinen Mitschülern arbeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Alleine arbeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ausflüge machen (Museum, Alpenzoo, botanischer Garten)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Wie oft siehst Du außerhalb der Schule folgende Programme im Fernsehen oder auf Video?

	Fast täglich	Einmal pro Woche	Einmal pro Monat	Fast Nie
Nachrichten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Natursendungen (Universum, Galileo,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kindersendungen (Confetti-TV, Sendung mit der Maus,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wissenschaftssendungen (Forscherexpress, Willi will's wissen, Wow – die Entdeckerzone,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Popmusik (MTV, VIVA)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Komödien, Krimis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeichentrickfilme (Simpsons, Sailermoon,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

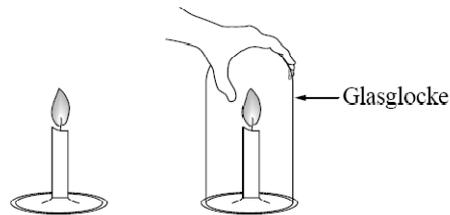
11. Schreibe den Vornamen von DREI Mitschülern auf, mit denen du gerne bei einer Gruppenarbeit zusammenarbeiten würdest.

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

1. Was glaubst du passiert mit einer Kerze, wenn sie mit einem Glas zugedeckt wird?



- A - Die Kerze brennt heller
- B - Die Kerze geht sofort aus
- C - Die Kerze brennt noch eine Weile und geht dann aus
- D - Die Kerze brennt weiter wie zuvor

Warum passiert das?

---

---

FF: 2. Peter hat sechs Pflanzen geschenkt bekommen. Er möchte herausfinden, ob die Pflanzen in der Sonne oder im Schatten besser wachsen. Was sollte Peter machen?

- A - alle Pflanzen in die Sonne stellen
- B - drei Pflanzen in die Sonne stellen und drei Pflanzen in den Schatten
- C - alle Pflanzen in den Schatten stellen
- D - alle Pflanzen in die Sonne stellen, aber unbedingt genug gießen

3. Warum können Menschen in einer Welt ohne Pflanzen nicht leben? Schreibe **zwei** Gründe auf.

---

---

---

---

4. Wie kommt Sauerstoff in die Luft?

- A - Bäume machen Sauerstoff
- B - Alle grünen Pflanzen machen Sauerstoff

- C - Die Sonne macht Sauerstoff
- D - Tiere machen Sauerstoff
- E - Ich weiß nicht

FF: 5. Ihr wollt herausfinden, welche von drei Glühbirnen am hellsten leuchtet? Welche der Behauptungen ist die beste Möglichkeit, um die Antwort zu finden?

- A - "Eine Glühbirne sieht für mich am hellsten aus. Also weiß ich bereits die Antwort."
- B - "Alle Glühbirnen sehen für mich hell aus. Deshalb kann es keine Antwort geben."
- C - "Es wäre gut, wenn wir die Helligkeit der Glühbirnen messen könnten."
- D - "Wir machen eine Abstimmung. Jeder stimmt für jene Glühbirne, die er oder sie für die hellste hält."

6. Was braucht eine Pflanze alles, damit sie wachsen kann?

---

---

---

---

7. Warum sind die meisten Blätter grün?

- A - Damit sie nicht von Vögeln gefressen werden
- B - Damit sich grüne Tiere besser zwischen den Pflanzen verstecken können
- C - Damit sie das Sonnenlicht einfangen können
- D - Damit die Kühe wissen, was sie fressen sollen
- E - Ich weiß nicht

FF: 8. Wie könntest du am besten beweisen, dass eine Pflanze Wasser zum Leben braucht?

- A - zwei verschiedene Pflanzen nehmen und eine nicht gießen, die andere schon. Nach drei Wochen die zwei Pflanzen vergleichen.
- B - zwei gleiche Pflanzen nehmen und eine nicht gießen, die andere gießen. Nach drei Wochen die zwei Pflanzen vergleichen.
- C - zwei verschiedene Pflanzen und beide nicht gießen.
- D - zwei gleiche Pflanzen nehmen und beide nicht gießen.

## 9. Ich finde Pflanzen

- total langweilig
- eher langweilig
- eher spannend
- total spannend

## 10. Würdest du mit deiner Klasse gerne einen botanischen Garten besuchen?

- Ja
- Ist mir egal
- Nein

**Vielen Dank für deine Mitarbeit!!**

### 10.1.2 Posttest und Posttest 2 (ident)

#### ALLGEMEINE HINWEISE

Dieser Schülerfragebogen besteht aus einer Reihe von Fragen über deine Meinung zum Photosyntheseprojekt.

Lies jede Frage genau durch und beantworte sie so gut wie möglich. Bitte um Hilfe, wenn du etwas nicht verstehst oder du dir nicht sicher bist, wie man eine Frage beantwortet.

#### 1. Wie heißt du?

Vorname: \_\_\_\_\_ Nachname: \_\_\_\_\_

#### 2. Wie sehr haben dir folgende Dinge im Projekt gefallen?

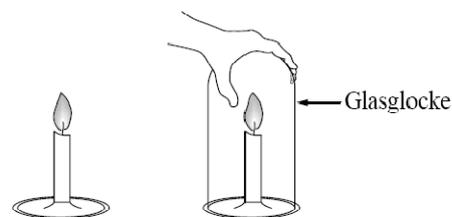
	Sehr gut	Eher gut	Eher nicht gut	Nicht gut
Die Arbeitsblätter ausfüllen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dem Lehrer zuschauen, wenn er ein Experiment gemacht hat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Selber Experimente machen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn der Lehrer uns erklärt hat, wie ein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Experiment funktioniert				
Wenn wir selber herausgefunden haben, wie ein Experiment funktioniert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit meinen Mitschülern arbeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alleine arbeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ausflug in den botanischen Garten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Hast du mit deinen Eltern oder deinen Freunden über das Projekt geredet?

- Ja                       Nein

1. Was glaubst du passiert mit einer Kerze, wenn sie mit einem Glas zugedeckt wird?



- A - Die Kerze brennt heller
- B - Die Kerze brennt noch eine Weile und geht dann aus
- C - Die Kerze geht sofort aus
- D - Die Kerze brennt weiter wie zuvor

Warum passiert das?

---



---

FF: 2. Peter hat sechs Pflanzen geschenkt bekommen. Er möchte herausfinden, ob die Pflanzen in der Sonne oder im Schatten besser wachsen. Was sollte Peter machen?

- A - alle Pflanzen in die Sonne stellen
- B - drei Pflanzen in die Sonne stellen und drei Pflanzen in den Schatten
- C - alle Pflanzen in den Schatten stellen
- D - alle Pflanzen in den Schatten stellen, aber unbedingt genug gießen

3. Warum können Menschen in einer Welt ohne Pflanzen nicht leben? Schreibe **zwei** Gründe auf.

---

---

---

---

4. Wie kommt Sauerstoff in die Luft?

- A - Bäume machen Sauerstoff
- B - Alle grünen Pflanzen machen Sauerstoff
- C - Die Sonne macht Sauerstoff
- D - Tiere machen Sauerstoff
- E - Ich weiß nicht

FF: 5. Ihr wollt herausfinden, welche von drei Glühbirnen am hellsten leuchtet? Welche der Behauptungen ist die beste Möglichkeit, um die Antwort zu finden?

- A - "Eine Glühbirne sieht für mich am hellsten aus. Also weiß ich bereits die Antwort."
- B - "Alle Glühbirnen sehen für mich hell aus. Deshalb kann es keine Antwort geben."
- C - "Es wäre gut, wenn wir die Helligkeit der Glühbirnen messen könnten."
- D - "Wir machen eine Abstimmung. Jeder stimmt für jene Glühbirne, die er oder sie für die hellste hält."

6. Was braucht eine Pflanze, damit sie wachsen kann?

---

---

---

7. Warum sind die meisten Blätter grün?

- A - Damit sie nicht von Vögeln gefressen werden
- B - Damit sich grüne Tiere besser zwischen den Pflanzen verstecken können
- C - Damit sie das Sonnenlicht einfangen können
- D - Damit die Kühe wissen, was sie fressen sollen

E - Ich weiß nicht

FF: 8. Wie könntest du am besten beweisen, dass eine Pflanze Wasser zum Leben braucht?

A - zwei verschiedene Pflanzen nehmen und eine nicht gießen, die andere schon. Nach drei Wochen die zwei Pflanzen vergleichen.

B - zwei gleiche Pflanzen nehmen und eine nicht gießen, die andere gießen. Nach drei Wochen die zwei Pflanzen vergleichen.

C - zwei verschiedene Pflanzen und beide nicht gießen.

D - zwei gleiche Pflanzen nehmen und beide nicht gießen.

9. Warum machen WissenschaftlerInnen Experimente?

A - Weil das soviel Spaß macht

B - Weil sie mit den Experimenten etwas beweisen wollen

C - Weil sie hoffen, dass das Experiment gelingt

D - Weil sie berühmt werden wollen

10. In welchem Teil der Pflanze findet Photosynthese statt?

- in allen grünen Teilen
- in den Wurzeln
- in der ganzen Pflanze
- in den Blättern

11. Wann findet Photosynthese statt?

- immer wenn Licht vorhanden ist
- in der Nacht und am Tag
- nur in der Nacht
- nur am Tag

12. Was **BRAUCHEN** die Pflanzen für die Photosynthese?

- Sauerstoff und Wasser
- Sauerstoff und Traubenzucker
- Kohlendioxid und Wasser
- Kohlendioxid und Sauerstoff

13. In welchen Teilen der Pflanze ist Blattgrün vorhanden?

- in allen grünen Teilen
- in den Wurzeln
- in der ganzen Pflanze
- in den Blättern

14. Wie ernährt sich eine Pflanze?

- Die Pflanze ernährt sich hauptsächlich von Wasser
- Die Pflanze stellt ihr eigenes Essen aus Kohlendioxid, Wasser und Licht her
- Die Pflanze stellt ihr eigenes Essen aus Sauerstoff und Bodenmineralen her
- Die Pflanze ernährt sich hauptsächlich von Bodenmineralen

15. Was **PRODUZIERT** die Pflanzen bei der Photosynthese?

- Kohlendioxid und Wasser
- Kohlendioxid und Traubenzucker
- Traubenzucker und Sauerstoff
- Wasser und Sauerstoff

16. Pflanzen finde ich

- total langweilig
- eher langweilig
- eher spannend
- total spannend

17. Würdest du auch mit deiner Familie gerne den botanischen Garten besuchen?

- Ja
- Ist mir egal
- Nein

18. Würdest du gerne öfter Experimente im Sachunterricht machen?

- Ja
- Ist mir egal
- Nein

19. Schreibe **5 Dinge** auf, die dir am Projekt gefallen haben?

---

---

---

---

---

20. Schreibe **2 Dinge** auf, die dir nicht gefallen haben.

---

---

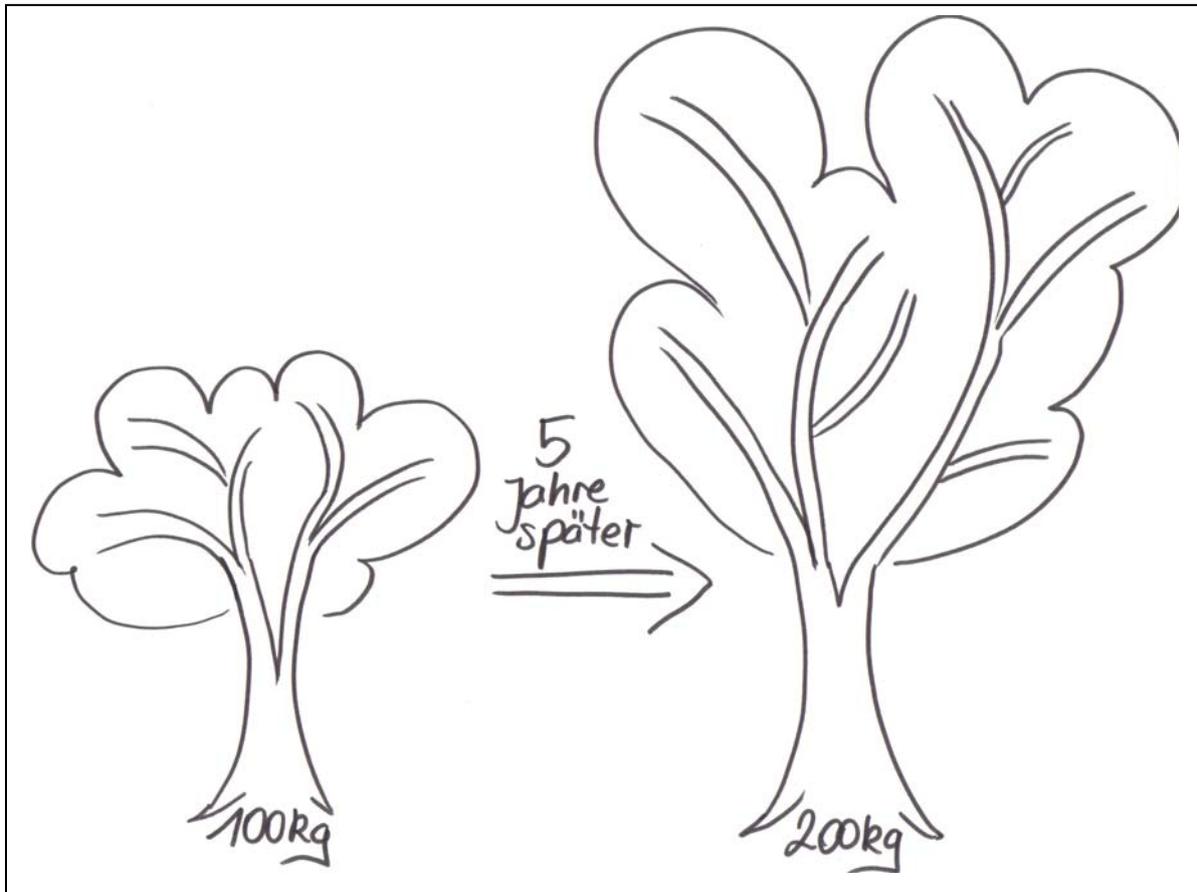
**Vielen Dank für deine Mitarbeit!!**

## 10.2 Stimuli für Diskussionen

### 10.2.1 Concept Cartoon zu Bedeutung der Blätter für Pflanzenwachstum



### 10.2.2 Zeichnung zu Baumwachstum innerhalb von 5 Jahren



### **10.3 Leitfragen für die LehrerInnen zum Erstellen des Projekttagbuchs**

#### 1. Unterrichtseinheit:

1.1 Wie ist die Unterrichtseinheit gelaufen?

1.2 Was hat gut funktioniert? Warum glaubst du, hat es funktioniert?

1.3 Was hat nicht funktioniert? Warum glaubst du, hat es nicht funktioniert?

#### 2. Mitarbeit:

2.1 Inwieweit warst du mit der Mitarbeit der SchülerInnen zufrieden?

2.2 Glaubst du, den SchülerInnen hat die Einheit gefallen?

2.3 Was hat ihnen deiner Meinung nach am besten gefallen?

2.4 Was hat ihnen am wenigsten gefallen?

#### 3. Lernziele:

3.1 Was waren deine Lernziele für diese Einheit?

3.2 Inwieweit haben die SchülerInnen diese Lernziele deiner Meinung nach erreicht?

3.3 Wie ist die Stunde nach der Einheit gelaufen? Wie waren sie SchülerInnen drauf? Gab es Auffälligkeiten, besondere Kommentare?

#### 4. Unterrichtsmaterialien:

4.1 Waren die Hintergrundinformationen für dich hilfreich?

4.2 Waren die Hintergrundinformationen ausreichend?

4.3 War der vorgeschlagene Unterrichtsverlauf hilfreich?

4.4 Was würdest du an den Informationen für die LehrerInnen ändern?

4.5 Waren die Arbeitsblätter für die SchülerInnen ihren Voraussetzungen entsprechend?

4.6 Was würdest an den Arbeitsblättern ändern?

#### 5. Evaluation:

6.1 Warum würdest du die Unterrichtsmaterialien LehrerInnen an deiner Schule empfehlen?

6.2 Warum würdest du die Unterrichtsmaterialien LehrerInnen an deiner Schule nicht empfehlen?

6.3 Wie könnten wir die Unterrichtsmaterialien verbessern?

## 10.4 Unterrichtsmaterialien

Für elektronische Versionen: die Unterrichtsmaterialien können unter <http://www.plantsafe.net/de/experiments/> heruntergeladen werden.



## Wie Pflanzen wachsen

### Einleitung

Anders als Menschen oder Tiere, sind Pflanzen nicht auf den Verzehr anderer Organismen angewiesen, um leben zu können. Sie stellen alle Substanzen, die sie zum Wachsen benötigen selbst her.

Dieser Prozess nennt sich Fotosynthese und ist einer der wichtigsten Prozesse, ohne den menschliches oder tierisches Leben auf der Erde aus verschiedenen Gründen nicht vorstellbar wäre. Die Fotosynthese hält das Sauerstoff-Kohlendioxid-Gleichgewicht in der Atmosphäre aufrecht und ist Ausgangspunkt fast aller Nahrungsketten.

In der Sekundarstufe wird Fotosynthese oft als biochemische Gleichung unterrichtet, durch die Kohlendioxid und Wasser in Zucker und Sauerstoff umgewandelt wird. Dieser Ansatz ist speziell für junge Lerner nicht zielführend.

Aus diesem Grund haben wir einen anderen Ansatz gewählt. Ausgehend von den täglichen Beobachtungen der SchülerInnen zu den Themen „Luft“ und „Pflanzenwachstum“, bieten die Unterrichtsmaterialien den SchülerInnen die Möglichkeit, ihre eigenen Vorstellungen durch selbständiges und aktives Experimentieren zu hinterfragen und weiterzuentwickeln.

### Unterteilung

In den ersten 5 Modulen erarbeiten sich die SchülerInnen durch verschiedene Experimente die Zusammensetzung der Luft und verstehen die Bedeutung der Pflanzen als Sauerstoffherzeuger und ihre Fähigkeit, Kohlendioxid aufzunehmen.

Nur auf Basis dieses Wissens lassen sich aktuelle Themen wie Klimawandel oder Abholzung des Regenwaldes verstehen.

In den Modulen 6-10 wird das Thema Fotosynthese im Kontext von Pflanzenwachstum als sichtbares Resultat der Fotosynthese vermittelt. Die SchülerInnen verstehen, wie die Pflanzen mit Hilfe des Sonnenlichts Kohlenhydrate aufbauen, welche dann direkt (Pflanzenfresser) oder indirekt (Fleischfresser) für die Ernährung aller Tiere und des Menschen verwendet werden.



## Praktische Hinweise

Die Module bauen auf einander auf. Deshalb empfehlen wir, die Reihenfolge nicht zu ändern.

Die Module können sowohl in Form eines Projektunterrichtes als auch im Rahmen des Regelunterrichts verwendet werden. Alle Module enthalten Lernblätter. Wir empfehlen diese Lernblätter in einer Mappe oder einem Heft zu sammeln, damit die SchülerInnen am Ende des Unterrichts ihren eigenen Lernfortschritt nachvollziehen können.

**Wir empfehlen, von den SchülerInnen beim Experimentieren Fotos zu machen.**

**Diese Fotos können dann in Modul 10 verwendet werden, wenn das Verständnis der SchülerInnen in Form eines „concept mapping“ erhoben wird.**

## Materialien

Fast alle für die Experimente benötigten Materialien findet man in einem Supermarkt.

Falls spezielle Materialien (Wasserpflanzen, Chemikalien,...) benötigt werden, ist in den einzelnen Modulen erwähnt, wo diese Materialien gekauft werden können.

Zusätzlich kann eine Box mit den benötigten Materialien in vielen Botanischen Gärten in Europa abgeholt werden.

Für den Unterricht benötigte Symbole oder Fotos sowie Videos der Experimente sind kostenlos in der Mediengalerie der einzelnen Module unter **[www.plantsafe.net](http://www.plantsafe.net)** oder auf der dem Buch beigelegten CD erhältlich.



Wie Pflanzen wachsen

**ZEIT**  
30 Min

**MATERIAL**  
Tafel oder Flipchart  
Stifte

**FERTIGKEITEN**  
Formulieren eigener  
Meinungen

**SCHLÜSSELWORTE**  
Sauerstoff (Luft)  
Nahrung  
Pflanzen  
Mensch  
Fotosynthese



Wie Pflanzen wachsen wurde 2007 mit dem IMST Award geehrt.

Mit diesem Preis werden die herausragendsten Beispiele innovativer Entwicklungen im Mathematik-, Naturwissenschafts- und Informatikunterricht (sowie verwandte Fächer) im österreichischen Schul- und Bildungswesen ausgezeichnet.

EINSTIEG

## Können wir in einer Welt ohne Pflanzen leben?

### Überblick

Diese Einheit soll als Einstieg in das Thema Fotosynthese dienen. Fotosynthese ist jener Prozess, mit dem Pflanzen mithilfe von Lichtenergie aus Wasser und Kohlendioxid Zucker und als Nebenprodukt Sauerstoff herstellen. Als Einstieg soll gemeinsam erarbeitet werden, warum wir in einer Welt ohne Pflanzen nicht leben können. Dadurch wird der Alltagsbezug des Themas hergestellt.

### Lernziele

SchülerInnen verstehen, dass wir in einer Welt ohne Pflanzen nicht leben können, da diese uns mit Sauerstoff, Nahrung, Materialien (Holz, Fasern für Textilien,...) versorgen. Sie wissen, dass der Prozess, mit dem die Pflanzen Sauerstoff und Nahrung herstellen, Fotosynthese genannt wird und verstehen die Bedeutung des Lichts für diesen Prozess.

### Unterrichtsverlauf

1. Zeichne auf einer Seite der Tafel eine Pflanze und auf der anderen Seite ein Strichmännchen.
2. Diskutiere mit den SchülerInnen die Frage, auf welche Weise Pflanzen wichtig für Tiere und Menschen sein können und notiere die Ideen der SchülerInnen auf der Tafel.
3. Falls die SchülerInnen nicht erwähnen, dass Pflanzen Sauerstoff produzieren, den wir zum Atmen benötigen, vervollständige die Liste. Falls sie „Luft“ erwähnen, erkläre, dass die Pflanzen nur einen Teil der Luft produzieren, nämlich Sauerstoff.
4. Die SchülerInnen erwähnen sicherlich, dass die Pflanzen Nahrung für uns herstellen. Diskutiere mit den SchülerInnen, ob wir auch ohne Pflanzen genug zu essen hätten. Wir könnten uns ja ausschließlich von Schnitzel ernähren. Aber was essen denn Schweine oder Kühe? Pflanzen!
5. Erkläre, dass alle Tiere und der Mensch Fremdernährer sind, weil sie auf den Verzehr anderer Lebewesen angewiesen sind. Die Pflanzen sind Selbsternährer. Sie stellen ihre eigene Nahrung her, um wachsen zu können. Als Nebenprodukt wird Sauerstoff gebildet.
6. Frage die SchülerInnen, ob sie wissen, wie der Prozess heißt, bei dem die Pflanzen Nahrung und gleichzeitig Sauerstoff produzieren. Erkläre den SchülerInnen, dass der Prozess Fotosynthese heißt und wir uns die nächsten Stunden damit beschäftigen werden.
7. Fotosynthese kommt aus dem Griechischen. „Photo“ heißt Licht und „Synthese“ heißt „etwas machen“. Fotosynthese kann also „mit Hilfe von Licht etwas machen“ übersetzt werden. All die Dinge, die auf der Tafel gesammelt wurden (z. B. Sauerstoff, Nahrung, Holz,...), macht die Pflanze mit der Hilfe des Sonnenlichts. Zeichne eine Sonne in das Tafelbild ein.
8. Definieren von Lernzielen:  
Überlege mit den SchülerInnen gemeinsam was ihr im Zuge des Projektes herausfinden wollt:
  - a. Wie und warum erzeugen Pflanzen Sauerstoff?



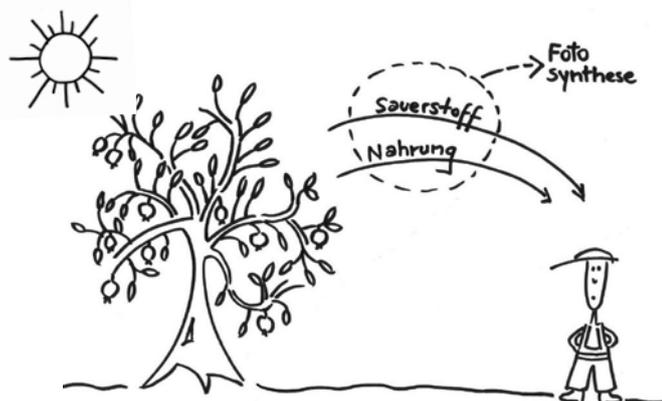
- b. Wie stellen Pflanzen Nahrung her?
- c. Wie arbeiten WissenschaftlerInnen?

## Hintergrundinformation

Jedes Lebewesen braucht zum Leben Nahrung (Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße). Grüne Pflanzen brauchen genauso wie Tiere (inkl. Menschen), Nahrung, um wachsen zu können. Tiere sind dabei auf den Verzehr anderer Lebewesen angewiesen. Sie werden deshalb auch Fremdernährer oder Konsumenten genannt. Pflanzen sind Selbsternährer oder Produzenten, das heißt sie können am Leben bleiben ohne andere Lebewesen zu fressen. Pflanzen stellen ihre eigene Nahrung her, indem sie mithilfe von Sonnenenergie aus Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) Zucker und als Nebenprodukt Sauerstoff herstellen. Dieser Prozess wird Fotosynthese genannt und findet in allen grünen Teilen der Pflanze, hauptsächlich in Blättern statt, weil Blattgrün für die Aufnahme der Sonnenenergie benötigt wird. Fotosynthese kommt aus dem Griechischen und bedeutet „Erzeugen mit Licht“.

**Die Fotosynthese ist der wichtigste biochemische Prozess, ohne dem menschliches Leben auf der Erde aus zwei Gründen nicht vorstellbar wäre:**

1. Die Fotosynthese ist für die Produktion von Sauerstoff zuständig, ohne dem Menschen und Tiere nicht leben könnten.
2. Der Prozess der Fotosynthese wandelt die Energie der Sonne in für Tiere und Menschen nutzbare Energie (Nahrung) um. Die Energie, die wir über die Nahrung aufnehmen ist schlussendlich nichts anderes als Sonnenenergie, die durch den Prozess der Fotosynthese in eine für uns verwendbare Form gebracht wurde. Somit sind alle Tiere und der Mensch direkt (Pflanzenfresser) oder indirekt (Fleischfresser) auf den Verzehr von Pflanzen angewiesen. Gäbe es keine Pflanzen, gäbe es auch kein Rind, das wir als Schnitzel zubereitet essen könnten.



## Vorschlag Tafelbild Einleitung

### Erweiterung

Die SchülerInnen sollen ihre eigenen Vorstellungen, wie eine Pflanze wächst und was sie dazu benötigt, auf ein Blatt Papier zeichnen. Diese Zeichnung soll bis zum Projektende aufbewahrt werden. Nach der letzten Einheit können die SchülerInnen wieder auf diese Zeichnung zurückgreifen und sie – wenn angebracht – ändern bzw. erweitern. Sie können auch eine neue Zeichnung erstellen und diese anschließend mit der vor dem Projektunterricht erstellten Zeichnung vergleichen.

Auf diese Weise sehen die SchülerInnen, wie sich ihre eigenen Vorstellungen zum Thema Fotosynthese/Pflanzenwachstum im Lauf des Projektes geändert haben. Die SchülerInnen erkennen, was und wie sie gelernt haben. Statt Zeichnungen kannst du auch die Begriffskärtchen aus Modul 10 verwenden. Mithilfe der Kärtchen erstellen die SchülerInnen eine „Concept Map“ (Anleitung siehe Modul 10). Noch unbekannte Begriffskärtchen sollen die SchülerInnen weglegen.



Wie Pflanzen wachsen

#### **ZEIT**

60 Min

#### **MATERIAL/GRUPPE**

1 Teelicht  
1 Glasbehälter  
1 Stoppuhr  
1 Strohhalm  
Zünder  
Blatt Papier

Kopien  
der Lernblätter A1, A2

#### **FERTIGKEITEN**

Beobachten  
Messen  
Begründen  
Argumentieren

#### **SCHLÜSSELWORTE**

Sauerstoff  
Kohlendioxid  
Stickstoff  
Einatemungsluft  
Ausatemungsluft

#### **FÄCHERÜBER- GREIFENDE AKTIVITÄT**

Sachunterricht  
(Natur/Technik)

MODUL 1: LERNBLATT A 1/2

## **Die brennende Kerze**



### **Überblick**

Die folgende Einheit verwendet das naturwissenschaftliche Prinzip von Vorhersagen – Beobachten – Erklären, bei dem die SchülerInnen den Ausgang eines Experimentes voraussagen und in Kleingruppen diskutieren. Anschließend wird gemeinsam die Zusammensetzung der Luft erarbeitet.

### **Lernziele**

SchülerInnen verstehen, dass die Luft aus verschiedenen Teilen zusammengesetzt ist.  
SchülerInnen verstehen, dass in der Ausatemungsluft weniger Sauerstoff ist als in der Umgebungsluft.

### **Unterrichtsverlauf**

1. Teile die SchülerInnen in Gruppen (4-5 SchülerInnen) und jede/r SchülerIn erhält das Lernblatt A1 und pro Gruppe ein Blatt Papier.
2. Die SchülerInnen sollen zuerst alleine eine Vorhersage treffen und ihre Vorhersage begründen. Anschließend sollen sie sich in der Gruppe auf eine Vorhersage einigen und die Vorhersage mit Begründung auf ein Blatt Papier schreiben.
3. Gemeinsam werden die Vorhersagen und Begründungen diskutiert.
4. Teile die Materialien aus und besprich mit den SchülerInnen die Bedienung der Stoppuhr.
5. Jede Gruppe soll nun das Experiment durchführen. Was passiert? Die SchülerInnen sollen auch stoppen, wie lange die zugedeckte Kerze brennt.
6. Notiere die einzelnen Zeiten auf der Tafel und diskutiere mit den SchülerInnen mithilfe der Hintergrundinformationen, was passiert ist. Visualisiere die Zusammensetzung der Umgebungsluft mithilfe eines Tafelbildes oder eines Plakates.
7. Teile Lernblatt A2 aus.
8. Sage den SchülerInnen, dass wir nun herausfinden wollen, ob die Luft, die wir ausatmen, gleich viel, mehr oder weniger Sauerstoff enthält als die Luft, die wir einatmen. Schreibe die Forschungsfrage auf die Tafel: Ist in der Luft, die wir ausatmen, mehr oder weniger Sauerstoff als in der Luft, die wir einatmen?
9. Was glauben die SchülerInnen? In den Gruppen sollen die SchülerInnen überlegen und diskutieren, wie man das herausfinden könnte.
10. SchülerInnen sollen den Versuchsaufbau, auf den sie sich geeinigt haben, aufzeichnen und das Experiment durchführen.
11. SchülerInnen sollen die Frage auf Lernblatt A2 beantworten. Besprecht gemeinsam die Antworten der SchülerInnen. Notiere die gestoppten Zeiten auf der Tafel und vergleiche die Zeiten mit den Zeiten von Versuch 1.
12. Diskutiere die Vorgehensweise mit den SchülerInnen. Vergleiche dazu auch die Hintergrundinformationen über die Charakteristika eines wissenschaftlichen Experiments.
13. Erstelle ein zweites Tafelbild zur Zusammensetzung der Ausatemungsluft. In der Ausatemungsluft sind 16 % Sauerstoff, also 5 % weniger Sauerstoff als in der Umgebungsluft.



Aber was ist stattdessen in der Ausatemluft? Das wissen wir noch nicht, deshalb machen wir ein Fragezeichen in die zweite Wolke (Abb.3). Um das herauszufinden, müssen wir uns wieder ein Experiment überlegen. Überleitung zum nächsten Modul.

14. 2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe.

## Hintergrundinformation

### 1. Zusammensetzung der Luft

Die uns umgebende Luft besteht zu 78 % aus Stickstoff und 21 % aus Sauerstoff und zu 1 % aus anderen Gasen (Edelgase,  $\text{CO}_2$  und andere Gase). Bei jedem Verbrennungsvorgang – egal ob eine Kerze brennt oder die Körperzellen Nahrung verbrennen wird  $\text{O}_2$  benötigt. Wenn bei unserem Versuch der gesamte Sauerstoff im Glasbehälter verbraucht ist, geht die Kerzenflamme aus.

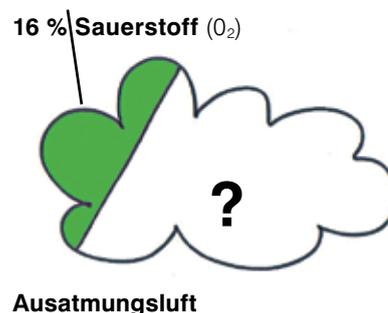
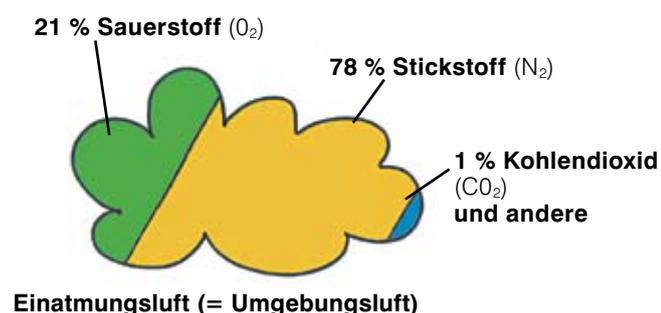
### Versuchsaufbau zweiter Versuch

In einem auf den Kopf gestellten Glasgefäß sollen die SchülerInnen mithilfe eines Strohhalmes Ausatemluft sammeln. Wie sie das machen, sollen sie selber herausfinden. Anschließend wird das Gefäß über eine brennende Kerze gestellt und gestoppt, wie lange die Kerze brennt.



**Versuchsaufbau: Zuerst ausgeatmete Luft im Gefäß sammeln und dann schnell über brennende Kerze stellen.**

Tiere (inkl. Menschen) müssen die Nahrung, die sie zu sich nehmen, verbrennen, um die in der Nahrung gespeicherte Energie nutzen zu können. Dabei wird  $\text{O}_2$  verbraucht und  $\text{CO}_2$  gebildet.  $\text{O}_2$  wird eingeatmet und das gebildete  $\text{CO}_2$  ausgeatmet. Die Ausatemluft hat also einen viel höheren  $\text{CO}_2$ -Gehalt und einen niedrigeren  $\text{O}_2$ -Gehalt als die Luft, die wir einatmen (Einatemluft: 21 Vol%  $\text{O}_2$  und 0,03 Vol%  $\text{CO}_2$ , Ausatemluft: 16 Vol%  $\text{O}_2$  und 5 Vol%  $\text{CO}_2$ ). Da in dem Gefäß mit der Ausatemluft weniger Sauerstoff ist, brennt die Kerze wesentlich kürzer (zusätzlich ist Kohlendioxid schwerer als Sauerstoff und es verdrängt den Sauerstoff vom Gefäßboden).





## 2. Charakteristika eines wissenschaftlichen Experiments

Die Unterrichtsmaterialien zielen darauf ab, dass die SchülerInnen neben einem Verständnis zum Thema Fotosynthese auch Einblicke in das wissenschaftliche Experimentieren bekommen. Dazu ist es wichtig, dass nicht nur die Ergebnisse eines Experiments gemeinsam mit den SchülerInnen reflektiert werden, sondern auch die Vorgehensweise. Was unterscheidet wissenschaftliches Experimentieren von einfachem „rumprobieren“?

**Unter anderem sind wissenschaftliche Experimente durch zwei Schlüsselfaktoren charakterisiert:**

a) Pro Experiment wird immer nur ein Faktor verändert:

In dem Experiment mit der Kerze änderten wir den Faktor „Luft“. Zuerst verwendeten wir Umgebungsluft und dann Ausatemungsluft. Ansonsten war das Experiment genau dasselbe. Dieselbe Kerze, dasselbe Glasgefäß. Deshalb können wir sicher sein, dass die kürzere Brenndauer mit der unterschiedlichen Luft zusammenhängen muss.

b) Die Ergebnisse eines Experiments müssen reproduzierbar sein:

Verschiedene Gruppen haben das Experiment durchgeführt und wahrscheinlich wurde das Experiment in den einzelnen Gruppen öfters wiederholt. Die Resultate variierten wahrscheinlich ein wenig (unterschiedliche Menge der Ausatemungsluft), aber in allen Experimenten hat die Kerze in dem Glasbehälter mit der Ausatemungsluft weniger lang gebrannt.

# Die brennende Kerze



1.



**Was glaubst du, passiert mit der Kerze, wenn sie zugedeckt wird?**

- A:** Die Kerze brennt heller.
- B:** Die Kerze geht sofort aus.
- C:** Die Kerze brennt noch eine Weile und geht dann aus.
- D:** Die Kerze brennt weiter wie zuvor.

2.



**Warum glaubst du, passiert das?**

Ich glaube, Antwort ..... ist richtig, weil:

3.



**Einigt euch in der 4er-Gruppe, auf die richtige Antwort, schreibt sie auf den Zettel. Schreibt auch auf, warum ihr glaubt, dass diese Antwort richtig ist.**

4.



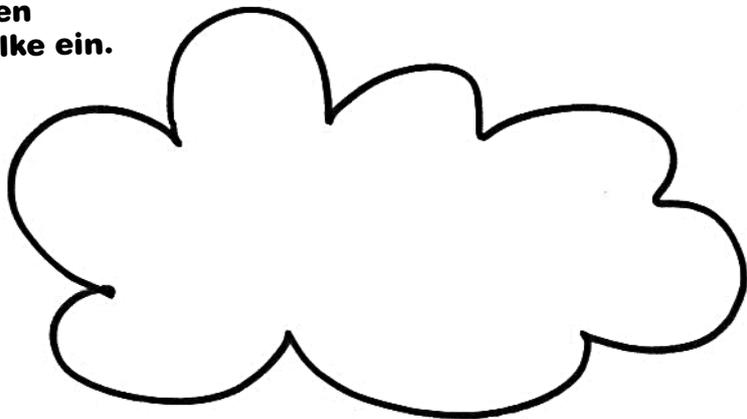
**Führt nun den Versuch durch und stoppt mit der Stoppuhr, wie lange die Kerze brennt!**

Die Kerze brennt ..... Sekunden.

5.



**Zeichnet die verschiedenen Anteile der Luft in die Wolke ein.**





6.

Ist in der ausgeatmeten Luft weniger, gleich viel oder mehr Sauerstoff als in der Luft, die wir einatmen?

- A: Weniger Sauerstoff
- B: Gleich viel Sauerstoff
- C: Mehr Sauerstoff



7.

Wie könnt ihr das herausfinden?  
Plant ein Experiment und zeichnet den Versuchsaufbau.

Die Kerze brennt ..... Sekunden

Die Kerze brennt ..... Sekunden



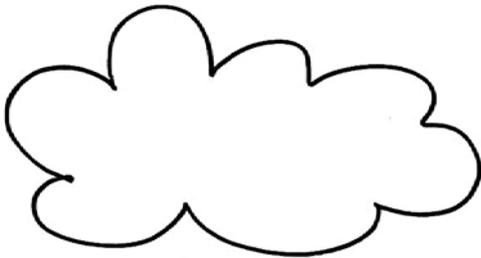
8.

Ich glaube, Antwort ..... ist richtig, weil



9.

Zeichnet die verschiedenen  
Anteile der Ausatemungsluft  
in die Wolke ein.



2 Dinge, die ich heute  
herausgefunden habe:

1:

2:



Wie Pflanzen wachsen

MODUL 2: LERNBLATT A 3/4

## Wir atmen Kohlendioxid aus

### ZEIT

80 Min

### MATERIAL/GRUPPE

2 Glasbehälter  
2 Strohhalm  
1 Fahrradpumpe  
Knetmasse  
10% Kalilauge (KOH)  
Farbindikator  
(1% Phenolphthalein-  
lösung)  
Pipette  
Eppendorf Behälter  
KOH und Phenolphthalein  
sind fixe Bestandteile von  
Chemiekästen für Kinder

Kopien  
der Lernblätter A3, A4

### FERTIGKEITEN

Genaueres Arbeiten mit  
Pipette  
Beobachten

### SCHLÜSSELWORTE

Ausatmungsluft  
Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)  
Sauerstoff (O<sub>2</sub>)  
Einatmungsluft

### FÄCHERÜBER- GREIFENDE AKTIVITÄT

Mathematik  
Sachunterricht  
(Natur/Technik)

### Einleitung

Die SchülerInnen wissen bereits, dass die ausgeatmete Luft weniger Sauerstoff enthält als die Umgebungsluft. Mit folgendem Versuch kann auf anschauliche Weise getestet werden, ob mehr CO<sub>2</sub> in der ausgeatmeten Luft ist. (Ein Film zum Versuch ist in der Mediengalerie, „Wie Pflanzen wachsen“, Modul 2 zu finden)

### Lernziele

SchülerInnen verstehen, dass die Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid und weniger Sauerstoff enthält als die Einatemungsluft.

### Unterrichtsverlauf

1. Teile die Klasse in Gruppen ein und teile Lernblatt A3 aus. Wiederholung der Zusammensetzung der Luft. Die SchülerInnen zeichnen in Farbe die verschiedenen Anteile der Umgebungsluft in Lernblatt A3 ein. Frage nach den fehlenden 5% Sauerstoff in der Ausatemungsluft. Was ist stattdessen in der Luft? Was glauben die SchülerInnen? Wie könnte man das herausfinden? Dazu gibt es in den Laboratorien spezielle Geräte (Infrarotgasanalysator, Sauerstoffelektrode). Da wir kein Gerät haben, machen wir folgenden Versuch.
2. Erkläre den SchülerInnen, dass wir mit diesem Versuch testen können, ob in der Ausatemungsluft mehr Kohlendioxid ist. **Dazu mischen wir uns eine rosa Flüssigkeit, die ihre Farbe ändert, wenn sie mit Kohlendioxid in Berührung kommt.**
3. Teile die benötigten Materialien (außer Chemikalien und Luftpumpe) aus.
4. Die meisten SchülerInnen arbeiten das erste Mal mit einer Pipette und sollten deshalb die Möglichkeit haben, deren Verwendung zu üben. Dazu füllen die SchülerInnen 200 ml Wasser in beide Glasbehälter und probieren aus, wie man Wasser mithilfe der Pipette aufsaugen und anschließend wieder **tropfenweise** abgeben kann.
5. Erkläre den SchülerInnen, dass wir nun mit Chemikalien arbeiten und es deshalb sehr wichtig ist, genau und vorsichtig zu arbeiten. Die SchülerInnen sollen Handschuhe anziehen. Wenn Flüssigkeiten in den Pipetten überbleiben, werden sie wieder zurück in die kleinen Eppendorf-Gefäße getropft. Teile nun die Chemikalien aus.
6. SchülerInnen stellen mithilfe der Anweisungen auf dem Arbeitsblatt die rosaroten Flüssigkeiten her.
7. Bevor der Versuch durchgeführt wird, soll noch einmal besprochen werden, was wir mit dem Versuch herausfinden wollen. WissenschaftlerInnen machen Experimente, um etwas herauszufinden bzw. zu beweisen. **Wir wollen herausfinden, ob in der Ausatemungsluft mehr oder weniger CO<sub>2</sub> ist als in der Umgebungsluft.** Dabei hilft uns die rosa Flüssigkeit.
8. SchülerInnen führen den ersten Teil des Versuches durch. Gemeinsam wird diskutiert, was geschehen ist und warum es passiert ist.
9. SchülerInnen sollen nun alleine überlegen, wie sie Umgebungsluft in das zweite Gefäß bekommen könnten. Lasse die SchülerInnen 5 min selbständig probieren. Sammelt gemeinsam einige Ideen.



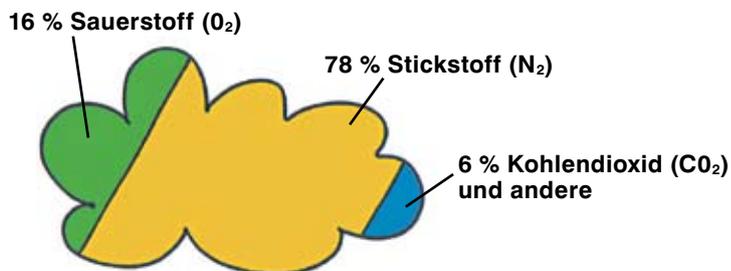
10. Teile erst jetzt Lernblatt A4 und die Pumpen aus. Die SchülerInnen pumpen Umgebungsluft in das zweite Gefäß, die Farbe wird sich jedoch nicht ändern bzw. nur ein wenig.
11. Besprich mit den SchülerInnen, was wir mit diesem Experiment beweisen konnten: Wir konnten nachweisen, dass die Ausatemungsluft mehr  $\text{CO}_2$  enthält als die Umgebungsluft.
12. Vervollständige das Tafelbild mit der Ausatemungsluft.
13. 2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe.

## Hintergrundinformation

Vorbereitung und Experiment siehe Lernblätter A3 und A4.

Mithilfe von KOH können wir das Wasser leicht basisch machen. Der farblose Indikator färbt basische Flüssigkeiten rosa. Im sauren Bereich ist er farblos. Das ausgeatmete  $\text{CO}_2$  bildet in Wasser Kohlensäure, wodurch die Lösung vom basischen in den sauren Zustand übergeht (Veränderung des pH-Wertes). Deshalb wird durch das ausgeatmete Kohlendioxid die rosa eingefärbte Flüssigkeit wieder durchsichtig.

Da in der ausgeatmeten Luft viel mehr Kohlendioxid (5 %) ist, als in der Umgebungsluft (0,03 %) verändert sich die Lösung in Gefäß 1 (mit Ausatemungsluft) sehr schnell. Die Lösung im anderen Gefäß ändert sich nicht oder nur sehr wenig.



## Zusammensetzung Ausatemungsluft

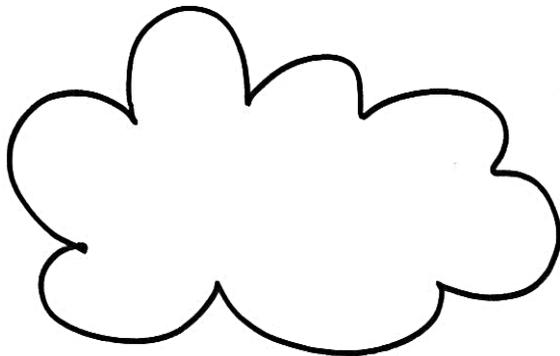
## Sicherheitsvorkehrungen

KOH kann zu Hautreizungen führen. Es sollte deshalb nicht auf die Haut oder in die Augen gelangen. Dazu sollen Laborhandschuhe getragen werden. Die Flüssigkeiten können auf Grund der sehr niedrigen KOH-Konzentration problemlos über das Waschbecken entsorgt werden.

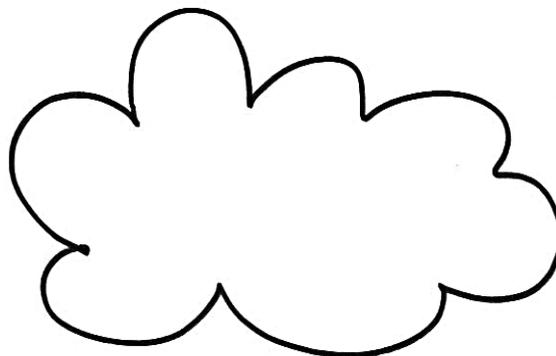
# Die Luft, die wir ausatmen

1.

Zeichne die verschiedenen Anteile der Luft in unterschiedlichen Farben in die Abbildung ein und beschrifte die Abbildung.



Einatemungsluft



Ausatmungsluft

2.

Macht nun folgenden Versuch:

1. Füllt 200 ml Wasser in die beiden Gefäße.
2. Gebt in beide Gefäße 10 Tropfen Kalilauge (Eppendorf Behälter mit rotem Deckel).
3. Reinigt die Pipette im Waschbecken.
4. Gebt in beide Gefäße 10 Tropfen Indikatorlösung (Eppendorf Behälter mit blauem Deckel). und rührt mit einem Strohhalm um.

Wisst ihr noch, was wir mit dem Experiment herausfinden wollten?  
Schreibt es kurz auf.

5. Ein Schüler oder eine Schülerin atmet über einen Strohhalm einige Male kräftig ins Gefäß 1.

6. Schreibe auf was passiert und WARUM es passiert:

7. Um zu testen, ob in der ausgeatmeten Luft auch wirklich mehr Kohlendioxid ist als in der Umgebungsluft, müssen wir in das zweite Gefäß Umgebungsluft hinein bekommen. Aber wie stellen wir das an? Überlegt in der Gruppe eine Lösung und besprecht sie dann in der Klasse.

8. Pumpt Umgebungsluft ins Gefäß 2.  
9. Schreibe auf, was passiert und WARUM es passiert.



**Was?** .....

.....

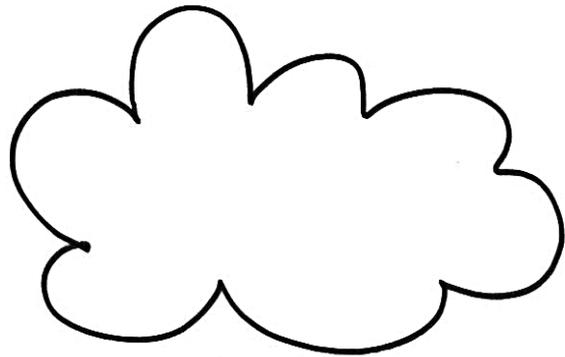
**Warum?** .....

.....

3.



**Vervollständige die  
Zusammensetzung der  
Ausatemungsluft:**



**2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe:**

1:

2:



Wie Pflanzen wachsen

MODUL 3: LERNBLATT A 5/6/7

## Priestleys Experiment

### ZEIT

60 Min

### MATERIAL

2 Gefäße mit Deckel  
2 Stoffmäuse  
1 kleine Pflanze  
Fotos von  
Spaltöffnungen

Kopien  
der Lernblätter A5-A7

### FERTIGKEITEN

Begründen  
Argumentieren

### SCHLÜSSELWORTE

Pflanzen  
Sauerstoff  
Kohlendioxid  
Spaltöffnungen  
CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-Kreislauf

### FÄCHERÜBER- GREIFENDE AKTIVITÄT

Deutsch  
Sachunterricht  
(Natur/Zeit)

### Einleitung

Bei dieser Übung wird mit den SchülerInnen ein historisches Experiment diskutiert, bei dem herausgefunden wurde, dass Pflanzen Sauerstoff produzieren. Auf der Basis historischer Experimente kann mit den SchülerInnen diskutiert werden, wie uns die Wissenschaft hilft, die Welt um uns zu verstehen.

### Lernziele

SchülerInnen verstehen die Bedeutung von Pflanzen als Sauerstoffproduzenten.  
SchülerInnen verstehen die Bedeutung von Sauerstoff für Tiere und den Menschen.

### Unterrichtsverlauf

1. Was wissen wir bereits: Wir atmen O<sub>2</sub>-reiche Luft ein und CO<sub>2</sub>-reiche Luft aus. Warum ist die Luft, die uns umgibt, nicht voll mit CO<sub>2</sub>? Warum ist immer noch Sauerstoff in der Luft? Was glauben die SchülerInnen?
2. Erzähle den SchülerInnen ein paar Highlights aus Priestleys Leben. Erzähle den SchülerInnen auch, dass die Menschen damals noch nicht gewusst haben, was Sauerstoff und was Kohlendioxid ist bzw. dass Luft aus verschiedenen Teilen besteht.
3. Teile die SchülerInnen in Gruppen ein und teile die Lernblätter aus.
4. Lies den ersten Teil (Versuchserklärung) aus Priestleys Brief an seinen Freund Benjamin Franklin vor. Verwende zur Visualisierung zwei Gefäße mit Deckel, eine Pflanze und zwei Stoffmäuse.
5. Die SchülerInnen sollen das Experiment beschriften, Vorhersagen über das Schicksal der zwei Mäuse treffen und ihre Meinung auch begründen. Falls die SchülerInnen anderer Meinung sind, sollen sie versuchen, sich auf eine Meinung zu einigen. Wichtig ist, dass die SchülerInnen ihre Aussagen immer begründen. Jede Gruppe präsentiert anschließend ihre Vorhersagen.
6. Diskutiere die Vorhersagen und Begründungen der SchülerInnen in der Klasse.
7. Lies nun den zweiten Teil aus Priestleys Brief vor.
8. Diskussion: Was hat Priestley mit verbrauchter Luft gemeint. Was hat er mit „die Pflanzen geben der Luft die Frische zurück“ gemeint? Die SchülerInnen beantworten die Fragen auf Lernblatt A5.
9. Zeige den SchülerInnen die Bilder der Spaltöffnungen. Wozu könnten diese Öffnungen gut sein?
10. Die SchülerInnen zeichnen den CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-Kreislauf auf die Arbeitsblätter.
11. Diskussion: Wie konnte Priestley beweisen, dass die Pflanzen „schlechter Luft ihre Frische zurückgeben“? Er hat zwei **fast gleiche Experimente** gemacht (einziger Unterschied war die Pflanze) und dann **verglichen**. Weil alles außer der Pflanze gleich war, konnte er beweisen, dass die Pflanze für die „Verbesserung der Luft“ zuständig war. Bei dem Experiment mit der rosa Flüssigkeit haben wir genau gleich gearbeitet.



Fast alles war gleich. Der einzige Unterschied zwischen den beiden Versuchen war, dass wir einmal Ausatemluft und einmal Umgebungsluft verwendet haben. Um sicher zu gehen, dass es nicht an der Maus gelegen ist (sie hätte ja krank sein können), hat Priestley auch noch die zweite Maus in das Gefäß ohne Pflanze gesetzt. Siehe Charakteristika eines wissenschaftlichen Experiments in Modul 1.

12. Teile Priestleys Brief an Benjamin Franklin aus.
13. 2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe.

## Hintergrundinformation

Pflanzen nehmen über kleine Öffnungen an der Blattunterseite (Spaltöffnungen - siehe Abbildung in der Mediengalerie, Wie Pflanzen wachsen, Modul 3)  $\text{CO}_2$  auf und wandeln es gemeinsam mit Wasser, mithilfe des Sonnenlichts zu Zucker um. Als Nebenprodukt entsteht Sauerstoff. Der Sauerstoff wird wieder über die Spaltöffnungen abgegeben. Die Pflanze in Priestleys Versuch nimmt das Kohlendioxid der Ausatemluft auf und gibt Sauerstoff ab. Dadurch kann in dem Gefäß mit der Pflanze, die Maus ohne Probleme fünf Minuten überleben.

## Geschichtliches zu Joseph Priestley

Joseph Priestley wurde 1733 in Yorkshire, England geboren. Priestley arbeitete als Priester. Erst mit 35 Jahren fing er an, sich für die Naturwissenschaften zu begeistern. Er wohnte neben einer Brauerei und begann sich für das Gas zu interessieren, das bei der alkoholischen Gärung entsteht. Er untersuchte dieses Gases (Kohlendioxid), leitete es in Wasser und **erfand das Sodawasser**. Außerdem entdeckte er 1774 ein Gas, das drei Jahre später von dem Franzosen Lavoisier Sauerstoff genannt wurde. Er fand auch heraus, dass Tiere und Menschen „Luft verbrauchen“ und Pflanzen der Luft ihre „Frische zurückgeben können“. Wie genau dieser Prozess – die Photosynthese – funktioniert, wurde aber erst 100 Jahre nach Priestleys Entdeckung verstanden.

Aus einem Brief von Joseph Priestley an seinen Freund Benjamin Franklin (1. Juli 1772):

*Lieber Herr Franklin,*

*Ich habe mich gänzlich davon überzeugt, dass Luft, die durch Atmung in höchstem Grade schädlich geworden ist, durch Pflanzen, die darin wachsen, wiederhergestellt wird.*

*In einem Gefäß habe ich verbrauchte Luft gesammelt und dieses Gefäß luftdicht verschlossen. Sieben Tage später habe ich in dieses Gefäß eine Maus gesetzt. In einen anderen Glasbehälter mit derselben verbrauchten Luft habe ich eine Pflanze gestellt. Sieben Tage später habe ich in dieses Gefäß ebenfalls eine Maus gesetzt.*

### **Erst weiter lesen, nachdem die SchülerInnen ihre Vorhersagen getroffen haben!!**

*Die Maus in dem Gefäß ohne Pflanze starb bereits nach 2 Sekunden. Die Maus in dem Gefäß mit der Pflanze lebte unbekümmert für mehrere Minuten in dem Gefäß. Dann habe ich sie raus genommen und in das Gefäß ohne Pflanze gesetzt. Auch diese Maus, der es in dem Behälter mit der Pflanze so gut ergangen war, konnte nur mit knapper Not wiederbelebt werden, nachdem sie für weniger als eine Sekunde in der anderen Luft gewesen war.*

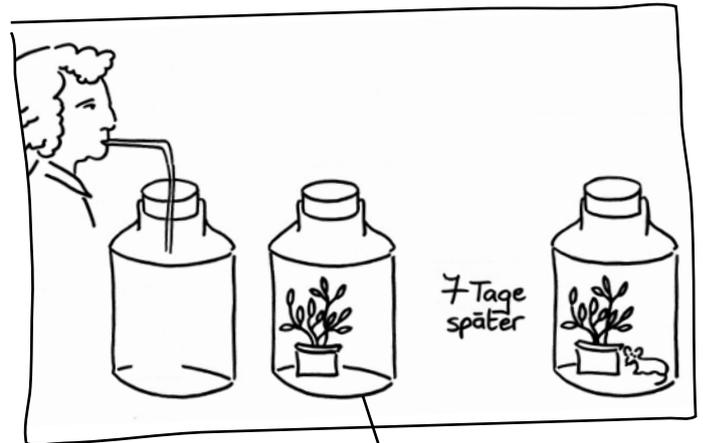
*Dieses Experiment zeigt, dass Pflanzen verbrauchter Luft ihre Frische zurückgeben können.*

# Priestleys Experiment

Experiment 1



Experiment 2



1.

Beschrifte Priestleys Experiment

2.

Was glaubst du, passiert mit der Maus im Experiment 1?

Warum glaubst du, passiert das?

3.

Was glaubst du, passiert mit der Maus im Experiment 2?

Warum glaubst du, passiert das?

Hör dir an, was Priestley an seinen Freund geschrieben hat.

4. 

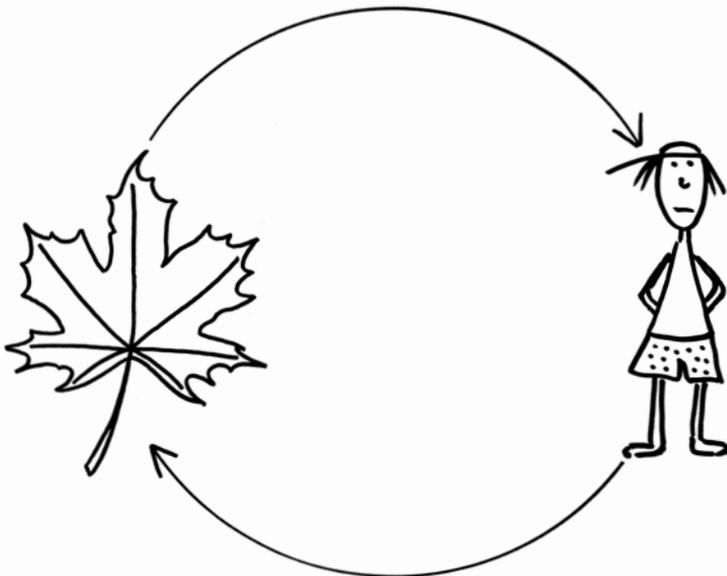
Was meinte Priestley mit „verbrauchter Luft“  
und was mit „die Pflanzen geben der Luft ihre Frische zurück“?

Verbrauchte Luft =

Pflanzen geben der Luft ihre Frische zurück =

5. 

Was bekommen wir von den Pflanzen  
und was können wir ihnen geben?  
Vervollständige den Kreislauf.



6. 

Wie heißen die kleinen  
Öffnungen an der Blatt-  
unterseite?



2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe:

1:

2:

# Priestleys Experiment

London, 1. Juli 1772

Lieber Herr Franklin,

Ich habe mich gänzlich davon überzeugt, dass Luft, die durch Atmung in höchstem Grade schädlich geworden ist, durch Pflanzen, die darin wachsen, wiederhergestellt wird.

In einem Gefäß habe ich verbrauchte Luft gesammelt und dieses Gefäß luftdicht verschlossen. Sieben Tage später habe ich in dieses Gefäß eine Maus gesetzt. In einen anderen Glasbehälter mit derselben verbrauchten Luft habe ich eine Pflanze gestellt. Sieben Tage später habe ich in dieses Gefäß ebenfalls eine Maus gesetzt.

Die Maus in dem Gefäß ohne Pflanze starb bereits nach 5 Sekunden. Die Maus in dem Gefäß mit der Pflanze lebte unbekümmert für mehrere Minuten in dem Gefäß. Dann habe ich sie raus genommen und in das Gefäß ohne Pflanze gesetzt. Auch diese Maus, der es in dem Behälter mit der Pflanze so gut ergangen war, konnte nur mit knapper Not wiederbelebt werden, nachdem sie nur wenige Sekunden in der anderen Luft gewesen war.

Dieses Experiment zeigt, dass Pflanzen verbrauchter Luft ihre Frische zurückgeben können.

Hochachtungsvoll

Joseph Priestley



Wie Pflanzen wachsen

MODUL 4: LERNBLATT 8/9

## Die Wasserpest macht Sauerstoff

### ZEIT

90 Min  
(eine Nacht)

### MATERIAL/GRUPPE

3 Reagenzgläser  
Reagenzglasalterung  
3 Sprosse der Wasserpest  
(Elodea)  
Destilliertes Wasser  
Leitungswasser  
Mineralwasser  
Stoppuhr  
Verschiedene Möglich-  
keiten zur Verdunkelung  
(Schachteln, dunkles  
Papier, Alufolie,.....)

Die Wasserpest kann in  
jedem Aquariengeschäft  
gekauft werden.

Kopien  
der Lernblätter A8, A9

### FERTIGKEITEN

Selbständige Versuchs-  
planung  
Beobachten  
Messen

### SCHLÜSSELWORTE

Wasserpflanzen  
Sauerstoff  
Kohlendioxid  
Licht

### FÄCHERÜBER- GREIFENDE AKTIVITÄT

Sachunterricht  
(Natur/Technik)

### Einleitung

In den vorangegangenen Versuchen haben die SchülerInnen Informationen zum  $\text{CO}_2$ - $\text{O}_2$ -Kreislauf und die Rolle der Pflanzen als  $\text{O}_2$ -Produzenten erarbeitet. In den folgenden Aufgaben werden nun hemmende und fördernde Faktoren der  $\text{O}_2$ -Produktion erarbeitet. Die SchülerInnen übernehmen dabei die Rolle des Wissenschafters und planen selbständig die Experimente. (Ein Film zum Versuch ist in der Mediengalerie, „Wie Pflanzen wachsen“, Modul 2 zu finden)

### Lernziele

SchülerInnen verstehen die Bedeutung von  $\text{CO}_2$  und Licht für die Produktion von Sauerstoff. SchülerInnen lernen den Prozess des wissenschaftlichen Problemlösens kennen: Fragestellung (Was wollen wir herausfinden?) – Versuchsplanung (Wie gehen wir dabei vor?) - Versuchsdurchführung & -deutung (Was können wir beobachten?).

### Unterrichtsverlauf

1. Wiederhole, was wir bisher gelernt haben. Priestleys Versuch hat gezeigt, dass Pflanzen Sauerstoff erzeugen können. Uns interessiert nun aber auch, was die Pflanze dazu benötigt, um Sauerstoff herstellen zu können.
2. Gib einen **frisch angeschnittenen** Spross der Wasserpest in ein Reagenzglas mit Leitungswasser, halte es an eine Lichtquelle und diskutiere mit den SchülerInnen, was man beobachten kann. An der frischen Schnittstelle steigen Bläschen auf, diese Bläschen sind Sauerstoff.
3. Teile die Klassen in Gruppen ein und teile die Materialien und das Lernblatt A8 aus.
4. Besprich mit den SchülerInnen die Materialien. Sodawasser enthält viel Kohlendioxid (Priestleys Erfindung), Leitungswasser wenig und destilliertes Wasser enthält gar kein Kohlendioxid.
5. Die SchülerInnen sollen nun ein Experiment planen, um herauszufinden, ob die Pflanze  $\text{CO}_2$  benötigt, um  $\text{O}_2$  zu bilden.
6. Die SchülerInnen planen selbständig das Experiment und führen es aus. Als LehrerIn übernimmst du die beratende Rolle. Die SchülerInnen sollen nicht nur beobachten, sondern auch messen, was passiert. Dazu verwenden sie eine Stoppuhr. Die Messergebnisse tragen sie in die Tabelle auf dem Lernblatt ein.
7. Zeichne eine Tabelle (wie jene auf dem Lernblatt) auf die Tafel und trage die Messergebnisse der einzelnen Gruppen in diese Tabelle ein. Diskutiere das Ergebnis mit den SchülerInnen.
8. Teile nun das Lernblatt A9 aus. Die SchülerInnen planen ein zweites Experiment und führen es durch.
9. Diskutiert gemeinsam die Vorgehensweise und die Ergebnisse.



- 10.** Die meisten SchülerInnen werden sagen, dass die Sauerstoffproduktion im Dunkeln weniger geworden ist, aber nicht ganz aufgehört hat, also hat Antonia Recht. Stelle die Reagenzgläser über Nacht in die Kartonschachteln und gib auch noch ein dunkles Tuch darüber. Schaut am nächsten Morgen noch einmal. Es werden keine Bläschen mehr kommen, da die Pflanze Licht braucht, um Sauerstoff zu produzieren.
- 11.** Reflexion: Wir haben die letzten Tage wie WissenschaftlerInnen gearbeitet. Aber wie arbeiten WissenschaftlerInnen?
- a.** Sie haben meistens eine Fragestellung (Braucht eine Pflanze Licht, um Sauerstoff zu bilden? Enthält die Ausatemluft mehr Kohlendioxid als die Umgebungsluft?).
  - b.** Sie planen ein Experiment, um diese Frage zu beantworten (Versuch mit Wasserpest, Versuch mit rosa Flüssigkeit).
  - c.** Sie **beobachten** oder **messen** oder **vergleichen** (Bei der rosa Flüssigkeit haben wir beobachtet und verglichen, Priestley hat verglichen, mit der Stoppuhr haben wir gemessen).
  - d.** Mit diesen Beobachtungen und Messdaten können sie ihre Fragen beantworten und einen bestimmten Sachverhalt **beweisen**.
- 12.** 2 Dinge, die ich heute gelernt habe.

## Hintergrundinformation

Damit eine Pflanze Sauerstoff produzieren kann, benötigt sie neben Wasser auch Kohlendioxid und Sonnenenergie. Dies kann man in zwei sehr einfachen Versuchen anschaulich nachweisen.

Wenn man einen Sprosses der Wasserpest so in ein Reagenzglas mit Leitungs- oder Sodawasser stellt, dass die Schnittstelle des Spross nach oben zeigt, steigen von der Schnittfläche Sauerstoffbläschen auf.

Es ist wichtig, dass die **Schnittstelle frisch** ist (kurz vor dem Versuch noch einmal einen kleinen Teil abschneiden) und die **Schnittstelle unter Wasser** ist.

Wenn man den Versuch mit Mineralwasser, Leitungswasser und destilliertem Wasser durchführt, kann man beobachten, dass eine unterschiedliche Menge an Bläschen aufsteigt.

Destilliertes Wasser enthält kein  $\text{CO}_2$ , deshalb kann die Pflanze keinen Sauerstoff bilden, es steigen keine Bläschen auf.

Mineralwasser enthält mehr  $\text{CO}_2$  als Leitungswasser, deshalb wird auch mehr  $\text{O}_2$  gebildet, es steigen mehr Bläschen auf.

Dasselbe gilt für die Lichtintensität. Je höher die Lichtintensität, desto mehr Sauerstoff wird gebildet. Wenn kein Licht vorhanden ist, wird auch kein Sauerstoff gebildet.

# Die Wasserpest macht Sauerstoff

Was wollen wir herausfinden?

1.



**Braucht eine Pflanze Kohlendioxid, um Sauerstoff zu produzieren?**

## Dazu haben wir:

- Wasserpflanze (Wasserpest)
- Wasser mit unterschiedlichen Mengen an Kohlendioxid
  - Destilliertes Wasser (enthält kein Kohlendioxid)
  - Leitungswasser (enthält ein wenig Kohlendioxid)
  - Mineralwasser (enthält viel Kohlendioxid)
- Stoppuhr
- Lichtquelle

2.



**Plant ein Experiment und führt das Experiment durch. Zeichnet den Versuchsaufbau auf.**

3.



**Wie viele Bläschen werden pro Minute gebildet? Trage die Ergebnisse in die Tabelle ein.**



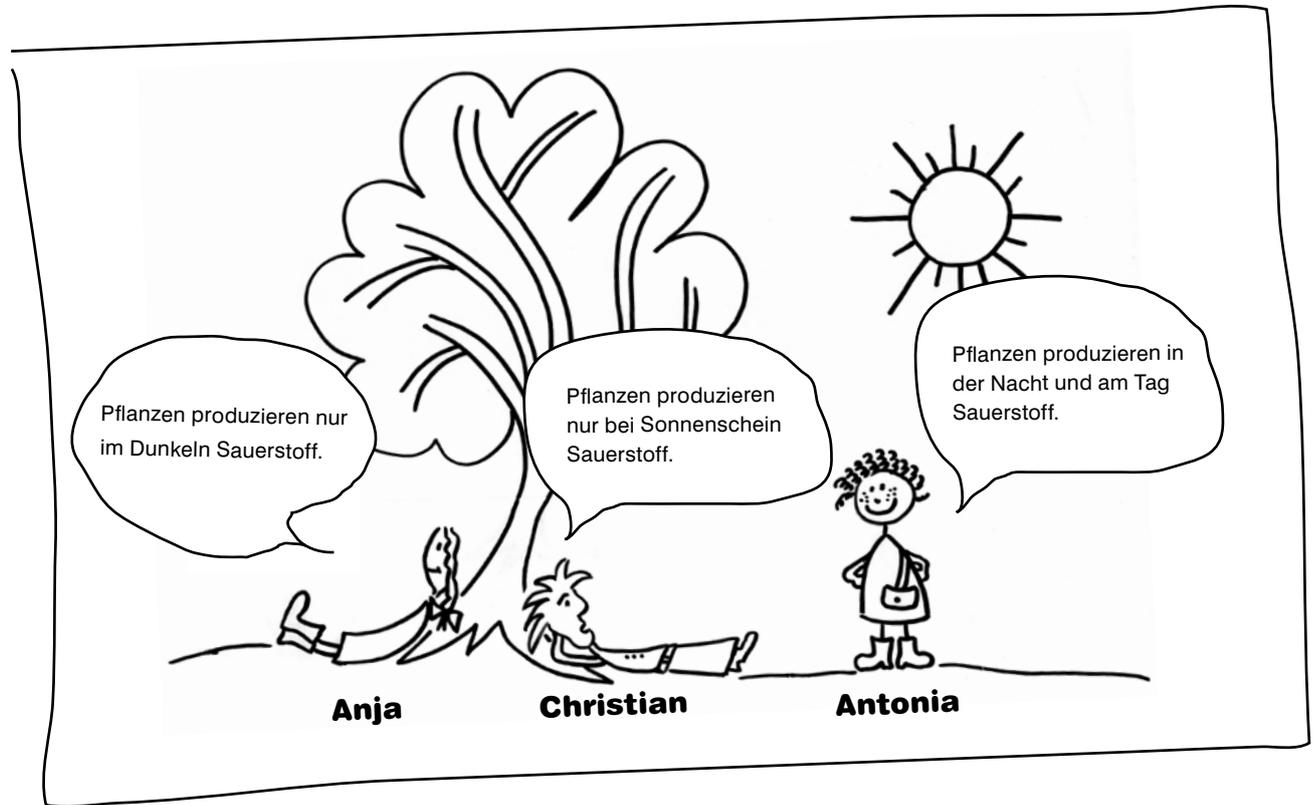
**Schau die Tabelle genau an und beantworte die Forschungsfrage aus Punkt 1!**

4.



**Wie konnten wir das beweisen?**

5.



6.

 **Wer von den drei Freunden hat Recht?**

- A:** Anja
- B:** Christian
- C:** Antonia

7.

 **Überlegt euch gemeinsam ein Experiment, das zeigt, wer Recht hat. Führt das Experiment durch und vervollständigt den Satz bei Punkt 8.**

8.

 **Wir konnten beweisen, dass ..... Recht hat, indem wir**



**2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe:**

1:

2:



Wie Pflanzen wachsen

MODUL 5

## Mein eigener Sauerstoffverbrauch

### ZEIT

30 Min

### MATERIAL/GRUPPE

7 Meter Wolle

4 Stäbchen

### SCHLÜSSELWORTE

Pflanzen

Menschen

Sauerstoff

Regenwald

Meeresalgen

### FÄCHERÜBER- GREIFENDE AKTIVITÄT

Mathematik

Turnunterricht

### Einleitung

Durch diese Aktivität bekommen die Kinder eine Idee, wie viel Grünfläche notwendig ist, um den persönlichen Sauerstoffbedarf pro Tag zu decken.

### Lernziele

SchülerInnen erarbeiten die Beziehung zwischen der Menge an Sauerstoff, die wir täglich brauchen, und der Menge an Pflanzen, die dafür notwendig ist.

SchülerInnen verstehen, dass nicht nur Bäume, sondern alle grünen Pflanzen Sauerstoff herstellen.

### Unterrichtsverlauf

1. Gehe mit den SchülerInnen auf eine Grünfläche. Frage die SchülerInnen, wie viel Sauerstoff sie jeden Tag verbrauchen.
2. Erkläre, dass Studien gezeigt haben, dass ein Mensch im Durchschnitt 360 Liter Sauerstoff pro Tag verbraucht. Wiederhole noch einmal, was eine Pflanze braucht, um Sauerstoff herzustellen.
3. Erkläre den SchülerInnen, dass nicht nur Bäume, sondern **alle grünen Pflanzen** (Wasserpflanzen, Gras...) Sauerstoff herstellen können.
4. Die SchülerInnen sollen raten, wie groß eine Grasfläche sein muss, die genug Sauerstoff herstellt, damit ein Mensch einen Tag lang davon leben kann. Lasse die SchülerInnen ihre geschätzte Fläche markieren (z. B. mit Stäbchen, Fähnchen).
5. Erkläre den SchülerInnen nun, dass eine Grasfläche von 3 m<sup>2</sup> oder ~7 m Umfang oder ein großer Baum den Tagesbedarf an Sauerstoff für einen Menschen decken kann. Jede Gruppe soll sich die notwendige Länge der Wolle zurechtschneiden und mit der Wolle eine Fläche im Gras markieren.
6. Wie groß müsste die Fläche sein, damit die ganze Klasse oder die ganze Schule genug Sauerstoff hat?
7. Diskutiere die folgenden Fragen mit den SchülerInnen.

### Diskussionspunkte

**Was passiert in Städten oder in der Wüste, wo wenig Pflanzen gibt? Warum können die Menschen dort auch atmen? Was passiert im Winter, wenn viele Bäume keine Blätter haben? Warum können wir in der Nacht atmen, obwohl in der Dunkelheit kein Sauerstoff produziert wird?**

Die Regenwälder und die Algen im Meer produzieren viel Sauerstoff. Die Pflanzen sind dafür verantwortlich, dass die Sauerstoff- und auch die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre relativ konstant bleiben. Deshalb können wir auch im Winter oder bei Dunkelheit atmen. Wälder und Algen auf dem Meer sind die „grüne Lungen“ der Erde.

**Was passiert, wenn die Regenwälder abgeholzt werden oder die Meeresalgen aufgrund von Verschmutzung sterben?**



Wie Pflanzen wachsen

MODUL 6: LERNBLATT A 10/11

## Wie werden Kartoffelpflanzen groß?

### ZEIT

60 Min

### MATERIAL

Kartoffelknolle, wenn vorhanden eine Kartoffelpflanze

Kopien der Lernblätter A10, A11

### FERTIGKEITEN

Beobachten  
Begründen  
Argumentieren

### SCHLÜSSELWORTE

Pflanzenwachstum  
Nährstoffe

### FÄCHERÜBERGREIFENDE AKTIVITÄT

Deutsch  
Sachunterricht  
(Natur/Zeit)

### Überblick

Kinder haben ihre eigenen Erklärungen, wie die Welt um sie herum funktioniert. Diese können richtig oder falsch sein. Bezüglich Pflanzenernährung sind Kinder – und auch Erwachsene – oft der Meinung, dass Pflanzen ihre Nahrung hauptsächlich über den Boden aufnehmen. Ausgehend von den Vorstellungen der SchülerInnen soll in der folgenden Übung dieser weit verbreitete Irrtum hinterfragt werden. Durch das anschließende Diskutieren historischer Experimente wird den SchülerInnen vermittelt, dass Wissenschaft ein dynamischer Prozess ist. Durch neue Experimente werden ständig neue Erkenntnisse gewonnen und auch das, was wir heute für richtig halten, kann sich durch neue Experimente wieder ändern und es entstehen neue Sichtweisen.

### Lernziele

SchülerInnen verstehen, dass das Pflanzenwachstum nicht allein über den Boden stattfinden kann, Nährstoffe jedoch in ganz geringen Mengen gebraucht werden.  
SchülerInnen verstehen, dass sich wissenschaftliches Wissen ständig unter Berücksichtigung neuer Beweise verändert.

### Unterrichtsverlauf

1. Erzähle die Geschichte von Anjas Großmutter. Gib dabei die Kartoffelknolle durch die Reihen.
2. Erkläre den SchülerInnen, dass Pflanzen genauso wie wir Menschen Nahrung brauchen, um wachsen zu können. Jeder Baum, jede Blume und auch die Kartoffelpflanze braucht Nahrung, um wachsen zu können. Anja hat gelesen, dass zur Zeit von Aristoteles (Hintergrundinformation) die Menschen glaubten, dass sich Pflanzen ausschließlich über den Boden ernähren. Um zu prüfen, ob das stimmt, hat sie sich ein Experiment überlegt.
3. Teile die SchülerInnen in Gruppen ein und teile die zwei Lernblätter A10 und A11 aus. Die SchülerInnen schneiden die Bilder vom Lernblatt A10 aus und sollen sie in die richtige Reihenfolge bringen. Wenn sich die Gruppe einig ist, können die SchülerInnen die Bilder in der richtigen Reihenfolge auf der Rückseite von Lernblatt A11 aufkleben. Die SchülerInnen überlegen sich eine Geschichte zu den Bildern und beantworten die Fragen auf dem Lernblatt A11.
4. Jede Gruppe stellt ihre Geschichte vor. Besprecht gemeinsam folgende Fragen:
  - a. Was wollte Anja herausfinden?
  - b. Wie ist sie dabei vorgegangen?
  - c. Was hat sie herausgefunden?
5. Der Boden kann also nicht die Hauptnahrungsquelle der Pflanzen sein, wie Aristoteles glaubte. Vergleiche die Nährstoffe, die die Pflanzen über den Boden aufnimmt mit den Vitaminen, die der Mensch benötigt, um gesund zu bleiben und zu wachsen. Aber Vitamine alleine sind nicht genug. Was benötigt eine Pflanze noch, um wachsen zu können?



6. Mit dieser Frage haben sich seit fast 2000 Jahren auch die Wissenschaftler auseinandergesetzt und dabei immer wieder neue Experimente geplant und neue Beweise gefunden. Diskutiere mit den SchülerInnen mithilfe der Hintergrundinformation, wie sich das Wissen im Laufe der Zeit verändert hat.
7. 2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe.

## Hintergrundinformation

### Anjas Großmutter

Anjas Großmutter lebt in Osttirol und hat vor ihrem Haus einen ziemlich großen Garten. Im Frühling pflanzt sie in einem Teil des Gartens Kartoffeln. Heuer hilft ihr Anja dabei. Gemeinsam kaufen sie einen 50-kg-Sack Kartoffeln. Sie setzen jede Kartoffel in die Erde und drücken sie ungefähr 6 cm tief in den Boden. Zwischen den einzelnen Kartoffeln lassen sie ungefähr einen halben Meter Abstand, damit die Kartoffelpflanzen genug Platz zum Wachsen haben. Über den Sommer entwickeln sich die Kartoffeln zu schönen Kartoffelpflanzen.

Zuerst treiben die Wurzeln aus, damit die Kartoffelpflanze das Wasser aus dem Boden aufnehmen kann und später die Blätter, mit denen die Pflanze das Sonnenlicht einfängt. Im September schneidet Anjas Großmutter die Blätter ab, gräbt die Erde um und sammelt alle Kartoffelknollen ein. Sie füllt die Kartoffeln wieder in 50 kg Säcke. Diesmal reicht aber nicht ein Sack, sondern sie braucht zehn, denn aus den 50-kg-Kartoffeln, die sie im April eingesetzt hat, sind über den Sommer 500 kg Kartoffeln geworden. Anjas Großmutter ist sehr zufrieden.

### Entdeckungsgeschichte der Fotosynthese

Im Laufe der letzten 2000 Jahre haben sich viele Wissenschaftler Gedanken darüber gemacht, wie sich Pflanzen ernähren. Mithilfe zahlreicher Experimente konnte dieser komplizierte Vorgang erklärt werden.

Um 350 v. Chr. glaubte der griechische Gelehrte **Aristoteles**, dass der Boden alle Substanzen für das Pflanzenwachstum liefert. Er glaubte, dass die Blätter nur zur Beschattung der Früchte dienten.

Um 1635 führte der belgische Naturforscher **Johan van Helmont** einen Versuch durch, der Aristoteles' Annahme beweisen sollte. Der Versuch war dem Versuch, den Anja gemacht hat sehr ähnlich. Er setzte eine junge Weide (2 kg) in einen Topf, der 90,9 kg Erde enthielt. Nach 5 Jahren hatte sich die Weide in einen Baum mit 76,8 kg entwickelt, aber nur 0,06 kg Erde waren aus dem Topf verschwunden. Van Helmont schloss daraus, dass die Weide aus dem Wasser gewachsen war, welches er regelmäßig zugegeben hatte.

Hundert Jahre später (1730) wusste man, dass Pflanzen Luft aufnehmen können und **Stephen Hales** glaubte, dass sich Pflanzen hauptsächlich von Luft ernähren.

Im Lauf der Jahrhunderte haben WissenschaftlerInnen mit weiteren Experimenten neue Beweise gefunden und somit Schritt für Schritt erklärt, wie das Pflanzenwachstum funktioniert.

Erst ab 1882, also noch einmal fast 150 Jahre später, wurde verstanden, wie das Pflanzenwachstum funktioniert. Keiner von den drei Wissenschaftlern hatte Recht, aber ihre Vorstellungen waren auch nicht völlig falsch. Wie das Pflanzenwachstum genau funktioniert, erfährt ihr in Modul 7.



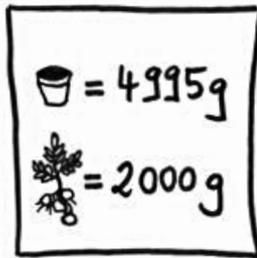
Waage



Waage



Waage



Waage



# Wie werden Kartoffelpflanzen groß?

1.

Schneidet die Bilder aus und bringt sie in die richtige Reihenfolge und überlegt euch eine Geschichte über das, was Anja gemacht hat.

2.

Was konnte Anja mit ihrem Experiment beweisen?

3.

Im Laufe der letzten 2000 Jahre haben sich viele Wissenschaftler Gedanken darüber gemacht, wie sich Pflanzen ernähren.

Wie hat sich Aristoteles, Johan van Helmont oder Stephen Hales das Pflanzenwachstum erklärt?

5.



Johan van Helmont (1580-1644) glaubte, dass

4.



Aristoteles (384-322 v. Ch) glaubte, dass

6.



Stephen Hales (1677-1761) glaubte, dass



2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe:

1:

2:



Wie Pflanzen wachsen

MODUL 7: LERNBLATT A 12

## Die Fotosynthese Gleichung

### ZEIT

60 Min

### MATERIAL

Eine Tafel zum Anheften der magnetischen Symbole

Magnetische Symbole (siehe Mediengalerie, „Wie Pflanzen wachsen“, Modul 7)

Kopie Lernblatt A12

### SCHLÜSSELWORTE

Licht  
Kohlendioxid  
Wasser  
Traubenzucker  
Stärke  
Sauerstoff  
Pflanzenwachstum

**FÄCHERÜBER-  
GREIFENDE AKTIVITÄT**  
Bildnerische Erziehung

### Überblick

Durch die Fotosynthese stellen die Pflanzen ihre eigene Nahrung (Zucker) und als Nebenprodukt Sauerstoff her. Aus dem Zucker und mit den wenigen Gramm Nährstoffen, die die Pflanzen aus der Erde aufnehmen, bauen die Pflanzen all jene Strukturen auf, die wir kennen: Holz, Blätter, Blüten, Früchte, Wurzeln oder Knollen.

In dieser Einheit wird gemeinsam mit den SchülerInnen die Fotosynthese Gleichung und ihre Bedeutung für das Pflanzenwachstum erarbeitet. Um das Thema Pflanzenwachstum zu verstehen ist es unbedingt notwendig nicht mit dem Endprodukt der Fotosynthese (Zucker bzw. Stärke) zu enden, sondern auch die Beziehung zwischen Zucker, Nährstoffen und Pflanzenwachstum aufzuzeigen.

### Lernziele

SchülerInnen kennen die Ausgangs- und Endprodukte der Fotosynthese.

SchülerInnen erkennen die Bedeutung der Blätter und des Blattgrüns für die Fotosynthese. SchülerInnen verstehen, dass sich die Pflanzen mithilfe der Fotosynthese und der Nährstoffe alle für das Pflanzenwachstum notwendigen Strukturen (Holz, Wurzeln, neue Blätter usw.) herstellen.

### Unterrichtsverlauf

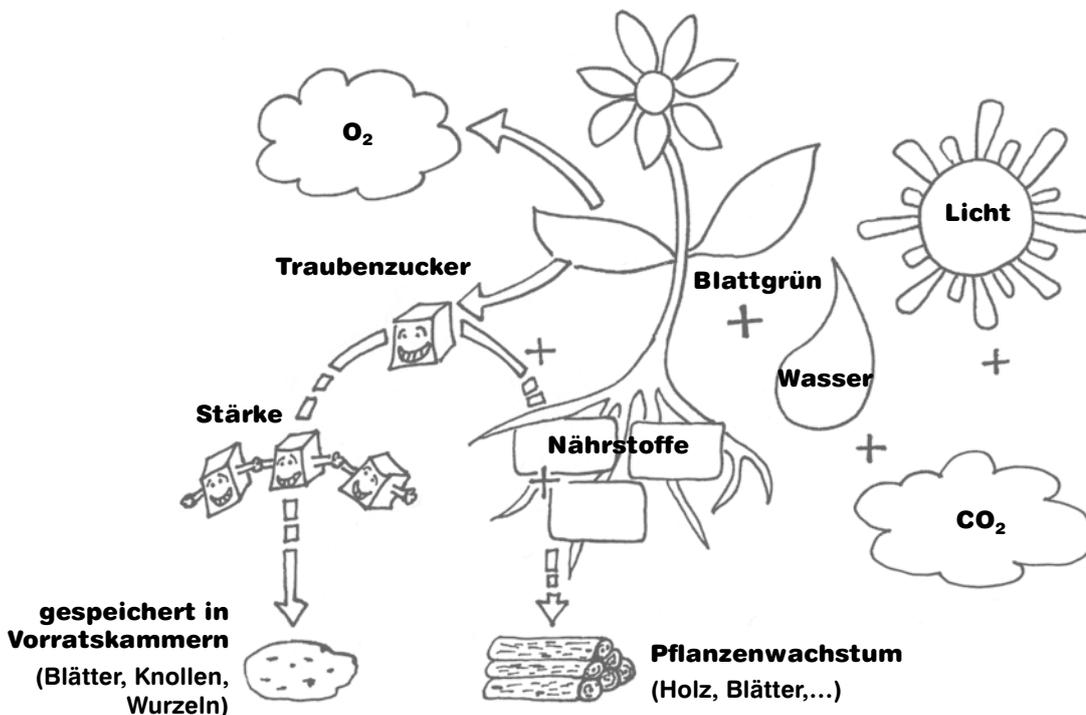
1. Zeichne eine Pflanze auf die Tafel bzw. verwende die magnetischen Symbole. Wir wollen herausfinden, was die Pflanze benötigt, damit sie wachsen kann. Diskutiere mit den SchülerInnen, was wir bereits wissen: Über den Boden nimmt die Pflanze nur wenige Gramm Nährstoffe auf. Was nimmt die Pflanze sonst noch auf? Wasser, Licht und  $\text{CO}_2$ . Doch wie wird aus  $\text{CO}_2$  (gasförmig), Wasser (flüssig) und Licht (durchsichtige Strahlen) und den wenigen Gramm Nährstoffen z.B Holz hergestellt?
2. Dazu muss die Pflanze in ihrer eigenen Nahrungsmittelfabrik (größtenteils Blätter) aus den verschiedenen Zutaten ihre eigene Nahrung herstellen. Was kommt in die Nahrungsfabrik hinein: Über die Wurzeln und über Leitgefäße (Fließband) wird Wasser in die Blätter transportiert, über die Spaltöffnungen kommt Kohlendioxid hinein. Woher kommt die Energie für die Fabrik? Von der Sonne. Das Blattgrün (Chlorophyll) dient als Sonnenkollektor, um die Sonnenenergie einzufangen. Und was macht die Nahrungsmittelfabrik aus diesen Zutaten? Traubenzucker und Sauerstoff. **Wasser + Kohlendioxid + Sonnenlicht + Blattgrün (Sonnenkollektoren) → Traubenzucker + Sauerstoff.**
3. Teile Lernblatt A12 aus. Die SchülerInnen schreiben auf, welche Zutaten Antonia für eine Pizza benötigt. Was benötigt Herr Buchenholz, um seine Nahrung (Traubenzucker) herzustellen? Sonnenlicht, Blattgrün, Wasser und Kohlendioxid.
4. Um wachsen zu können stellen die Pflanzen also ihre eigene Nahrung her. Was macht jetzt die Pflanze aus dem Traubenzucker? Die Pflanze besteht ja nicht aus Zucker, sondern aus Blättern, Stängel, Holz usw. Aus dem Zucker, den die Pflanze selbst herstellt, und den Nährstoffen aus dem Boden entstehen all jene Strukturen, die die Pflanzen zum Wachsen brauchen: neue Blätter, Holz, Stängel, Wurzeln usw. Zeichne die Verbindung zwischen Zucker, Nährstoffen und Pflanzenwachstum ebenfalls auf die Tafel bzw. verwende die magnetischen Symbole.



5. Die meisten Pflanzen produzieren an sonnigen Tagen mehr Zucker als sie zum Wachsen benötigen. Den überschüssigen Zucker speichern sie in Form von Stärke in speziellen Vorratskammern. Stärke ist eine Kette aus einzelnen Traubenzuckern. Die Vorratskammern können sich in den Blättern, Wurzeln, Knollen, Samen oder Früchten befinden. Im Frühjahr verwendet die Pflanze diese Speicherstoffe, um die ersten Blätter zu bilden, mit denen sie dann wieder Fotosynthese betreiben kann. Zeichne die Verbindung zwischen Zucker, Stärke und Speicherorganen (Vorratskammern) auf die Tafel bzw. verwende die magnetischen Symbole. Entwickle mit den SchülerInnen gemeinsam diese Darstellung, damit sie auch später diese schematische Darstellung deuten können.
6. Die SchülerInnen zeichnen das Tafelbild auf ein DIN A4-Blatt oder in ihr Heft.
7. 2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe.

## Hintergrundinformation

Erst 1862 wurde verstanden, wie die Pflanzen aus Wasser und Kohlendioxid mit Hilfe von Blattgrün und Licht Zucker herstellen können. Aus Zucker und Nährstoffen wird alles aufgebaut, was für das Pflanzenwachstum notwendig ist. Über die Wurzeln nimmt die Pflanze Wasser und Nährstoffe auf. Kohlendioxid gelangt durch die Spaltöffnungen in die Blätter. Hier wird aus Kohlendioxid und Wasser mithilfe des Blattgrün Zucker und Sauerstoff gebildet. Dieser Prozess heißt Fotosynthese. Die Energie dazu liefert die Sonne. Der Zucker wird vorübergehend in den Blättern in Stärke umgewandelt. Da Stärke nicht wasserlöslich ist, muss sie - um in den feinen Leitgefäßen der Pflanze transportiert werden zu können - wieder in den wasserlöslichen Traubenzucker (Transportform) umgewandelt werden. Der Traubenzucker wird von den Blättern zu den Orten seines Gebrauchs transportiert und direkt für den Aufbau neuer Strukturen (Cellulose, Holz,...), also für das Pflanzenwachstum verwendet oder wieder als Stärke in speziellen Speicherorganen deponiert. Für die biochemischen Umwandlungen des Zuckers in andere Strukturen (Pflanzenwachstum) benötigen die Pflanzen jene Nährstoffe, die sie über die Wurzeln aus dem Boden aufnehmen (Stickstoff, Phosphor,..).



## Mögliches Tafelbild mit Verwendung der Magnetsymbole

# Kochrezept

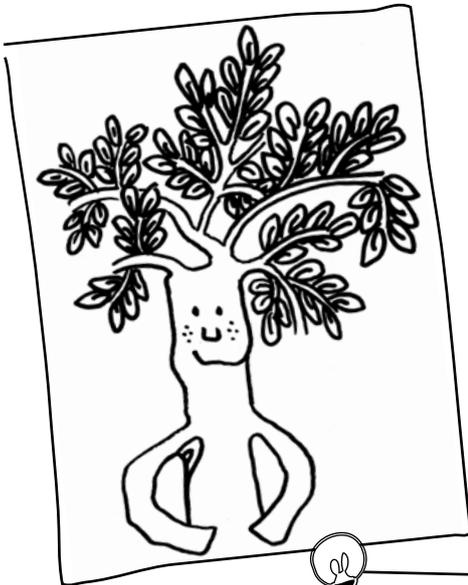


1. 

Damit Antonia wachsen kann, muss sie essen.

Antonias Lieblingsessen ist Pizza. Was benötigt Antonia, um eine leckere Pizza zuzubereiten?

Damit Antonia gesund bleibt, isst sie auch ganz viele Früchte und Gemüse, weil diese viele VITAMINE enthalten.



2. 

Damit Herr Buchenholz wachsen kann, benötigt er Traubenzucker.

Was benötigt Herr Buchenholz, um Traubenzucker herzustellen?

3. 

Damit er gesund bleibt, nimmt er zusätzlich noch ..... über die Wurzeln auf.

 **2 Dinge, die ich heute herausgefunden habe:**

1:

2:



Wie Pflanzen wachsen

MODUL 8: LERNBLATT A 13/14

## Stärke und Blattgrün (im Botanischen Garten)

### ZEIT

90 Min

### MATERIAL

Flipchartbogen  
Symbole aus Modul 7  
Kleber  
Schüssel  
Wasser  
Maisstärke  
Lugol'sche Lösung  
2 Kochplatten  
4 Petrischalen  
2 Pinzetten  
Ethanol  
Panaschiertes Blatt  
(Buntnessel)  
Mit Karton teilweise  
bedecktes Blatt  
Eppendorf Gefäße  
Pipetten  
Ethanol  
Petroleum  
Rote Blätter  
(Bluthasel, Blutbuche,  
Radicchio,..)  
Symbole mit Blattformen  
(siehe Mediengalerie,  
„Wie Pflanzen wachsen“,  
Modul 8)

Kopien  
der Lernblätter A13, A14

### FERTIGKEITEN

Beobachten  
Begründen  
Genaueres Arbeiten mit  
Pipette

### SCHLÜSSELWORTE

Fotosynthese  
Stärke  
Blattgrün (Chlorophyll)

### Überblick

Die Module 8 + 9 werden im Botanischen Garten durchgeführt und bauen auf den Vorbereitungen in der Schule auf. Experimente zum Thema Fotosynthese festigen und vertiefen das bereits erarbeitete Wissen. Zusätzlich wird den SchülerInnen die Möglichkeit gegeben, den Botanischen Garten selbständig zu erkunden. In Modul 8 erarbeiten die Schüler die Bedeutung von Licht und Chlorophyll für die Stärkeproduktion.

### Lernziele

SchülerInnen verstehen, dass ohne Licht keine Stärke gebildet werden kann.  
SchülerInnen verstehen, dass ohne Blattgrün keine Stärke gebildet werden kann.  
SchülerInnen erkennen, dass auch in roten Blättern Blattgrün enthalten ist.

### Vorbereitung

Zwei Tage vor der Führung wird eine Pflanze für 24 Stunden in einen dunklen Raum gestellt. Anschließend werden kleine Quadrate aus Karton an der Unter- und Oberseite einzelner Blätter mit einer Nadel befestigt und die Pflanze einige Stunden ans Licht gestellt.

### Unterrichtsverlauf

#### Wiederholung

1. Teile die SchülerInnen in zwei Gruppen. Teile die in Modul 7 verwendeten Symbole und einen Flipchartbogen aus.
2. Die SchülerInnen arrangieren und befestigen die Symbole auf dem Bogen. Die Gruppen präsentieren ihre Plakate.
3. Erkläre den SchülerInnen, dass wir mit den folgenden Experimenten beweisen werden, dass eine Pflanze Licht und Chlorophyll benötigt, um Stärke zu bilden.

#### Stärkenachweis in Maisstärke und Blatt

1. Löse Maisstärke in einer Schüssel mit ein wenig Wasser auf.
2. Gib Lugol'sche Lösung dazu und besprich mit den SchülerInnen, was passiert. Lugol'sche Lösung, die selbst hellbraun ist, verfärbt Stärke dunkelviolett bis schwarz.
3. Deshalb verwenden WissenschaftlerInnen diese Lösung, um herauszufinden, ob z. B. in einem bestimmten Nahrungsmittel Stärke vorhanden ist.
4. Nimm ein Pflanzenblatt und frage die Schülerinnen, ob in dem Blatt Stärke enthalten ist. Was glauben sie und wie könnte man es herausfinden?
5. Sammle die Ideen der SchülerInnen. Lege das Blatt in eine Petrischale und gib tropfenweise Lugol'sche Lösung dazu.



6. Was passiert? Besprich die Beobachtungen mit den SchülerInnen. Das Blatt wird sich nicht verfärben, da die Lugol'sche Lösung nicht in das Blatt eindringen kann.
7. Erwärme in einer Petrischale Ethanol und lege dasselbe Blatt für wenige Minuten in das heiße Ethanol. Der heiße Alkohol zerstört die Zellstruktur und löst das Chlorophyll teilweise aus dem Blatt. Sobald der Alkohol kocht, die Kochplatte ausschalten, da sonst der Alkohol sehr schnell verdampft. Verwende **große, flache** Petrischalen und wende das Blatt immer wieder mithilfe der Pinzette.
8. Lege das Blatt nun in eine zweite, leere Petrischale und tropfe Lugol'sche Lösung darauf. Das Blatt wird sich dunkel verfärben, da die bei der Fotosynthese gebildete Stärke in den Blättern gespeichert wurde.

### **Stärkenachweis in panaschierten und mit Karton teilweise bedeckten Blättern**

1. Teile die SchülerInnen in zwei Gruppen. Eine Gruppe bekommt eine Kopie vom Lernblatt A13, die andere Gruppe eine Kopie von Lernblatt A14.
2. Die Gruppen führen die Versuche selbständig durch und beantworten die Fragen auf dem Lernblatt. Der Betreuer übernimmt eine beratende Rolle. Achte darauf, dass – sobald der Alkohol kocht – die Kochplatten ausgeschaltet werden.
3. Die einzelnen Gruppen stellen ihre Ergebnisse der jeweils anderen Gruppe vor. Verwendet dazu die Fragen auf den Lernblättern.

### **Pflanzensuche im Gewächshaus**

1. Wir haben also beweisen können, dass die Pflanzen Blattgrün benötigen, um Stärke zu bilden. Mithilfe des Blattgrüns können die Blätter nämlich – ähnlich wie ein Sonnenkollektor – die Sonnenenergie einfangen, welche sie zum Aufbau von Traubenzucker verwenden. Dieser Prozess, die Fotosynthese, läuft meistens in den Blättern ab.
2. Die Pflanze benötigt zum Wachsen – neben Wasser, CO<sub>2</sub> und Licht – also auch Blattgrün in den Blättern.
3. Gib jeder Gruppe 8 Stäbchen, an denen ein bestimmtes Symbol (z. B. verschiedene Blattformen) befestigt sind. Jeweils 4 Stäbchen mit einem gleichen Symbol werden verteilt.
4. Die SchülerInnen sollen sich nun das Gewächshaus besichtigen. Gibt es auch Pflanzen, die keine Blätter haben? Gibt es Pflanzen, die eine andere Farbe als grün haben? Falls sie solche Pflanzen finden, sollen sie ein Stäbchen in die Erde vor der Pflanze stecken.
5. Die SchülerInnen bewegen sich 5-10 min frei durchs Gewächshaus.
6. Anschließend wird gemeinsam mit den SchülerInnen eine Runde durchs Gewächshaus gemacht und die einzelnen Stäbchen werden wieder eingesammelt.
7. Pflanzen ohne Blätter sind vorwiegend Kakteen. Wie wachsen Kakteen, obwohl sie keine Blätter haben? Sie haben ebenfalls grüne Stellen, mit denen sie das Licht aufnehmen können. Sie betreiben an diesen Stellen Fotosynthese.
8. Falls es im Gewächshaus keine Pflanzen mit roten Blättern gibt, verteile vor der Führung einzelne Topfpflanzen im Gewächshaus (Coleus sp., Iresine sp.). Nimm von jeder Pflanze ein Blatt oder einen Teil eines Blattes mit.



### **Chlorophyllnachweis in roten Blättern**

1. Zerkleinere die roten Blätter und gib sie in eine Petrischale mit Ethanol. Erwärme den Ethanol auf der Kochplatte bis sich der Ethanol rot färbt. Schalte die Kochplatte aus, sobald der Alkohol kocht.
2. Die SchülerInnen füllen mit einer Pipette einzeln die rote Flüssigkeit in ein Eppendorf Gefäß (es sollte ein bisschen mehr als zur Hälfte gefüllt sein).
3. Einzeln tropfen die SchülerInnen ein paar Tropfen Petroleum in das Eppendorf Gefäß. Das Gefäß sollte nicht ganz voll sein, da sonst beim Verschließen die Flüssigkeit übergeht.
4. SchülerInnen verschließen das Eppendorf Gefäß und schütteln es, damit sich das farblose Petroleum und der rot eingefärbte Ethanol vermischen.
5. Nach etwa einer Minute trennen sich die zwei Flüssigkeiten wieder, da Ethanol und Petroleum sich nicht vermischen. Kennen die SchülerInnen dieses Phänomen? Ähnliches passiert, wenn man Wasser mit Öl vermischt.
6. Welche Farbe hat das Petroleum jetzt? Es hat sich grün verfärbt und es sind eindeutig 2 Schichten erkennbar, eine grüne „Petroleumschicht“ und eine rote „Ethanol-schicht“.
7. Was konnten wir mit diesem Experiment beweisen? Dass auch in roten Blättern Blattgrün vorhanden ist, da diese Pflanzen sonst die Sonnenenergie nicht einfangen könnten und somit nicht wachsen könnten. Das Blattgrün ist jedoch von diesem roten Farbstoff überdeckt.

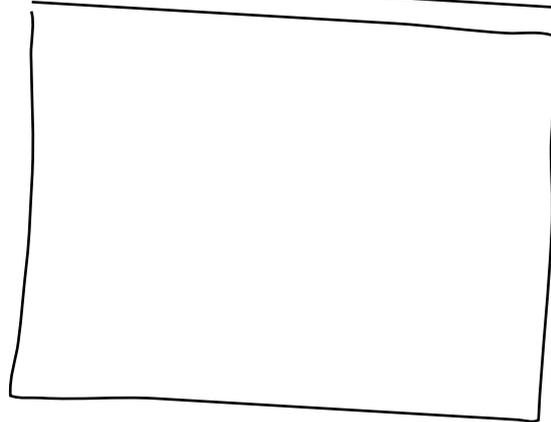
### **Sicherheitstipps**

Verwende beim Kochen des Alkohols eine flache, breite Petrischale und wende das Blatt immer wieder. Sobald der Alkohol kocht, Kochplatte ausschalten und Petrischale von der Kochplatte nehmen, da Alkohol sehr schnell verdampft. Alkohol nie mit einer offenen Flamme erwärmen. Idealerweise wird der Alkohol in einem heißen Wasserbad erwärmt.

# Stärke und Blattgrün

1.

Macht in einem grün-weißen Blatt den Stärkenachweis. Zeichnet in dem leeren Feld ein, an welchen Stellen des Blattes Stärke gebildet wurde.



2.

An welchen Stellen im Blatt wurde **KEINE** Stärke gebildet?

3.

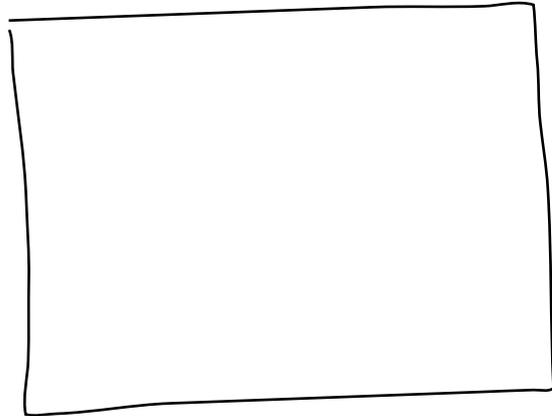
Warum wurde an diesen Stellen keine Stärke gebildet?

4.

Was konnten wir mit diesem Experiment beweisen?

# Stärke und Blattgrün

1.  Macht mit einem mit einer Schablone abgedeckten Blatt den Stärkenachweis. Zeichnet in dem leeren Feld ein, an welchen Stellen in dem Blatt Stärke gebildet wurde.



2.  An welchen Stellen wurde KEINE Stärke gebildet?

3.  Warum wurde an diesen Stellen keine Stärke gebildet?

4.  Was konnten wir mit diesem Experiment beweisen?



Wie Pflanzen wachsen

## MODUL 9: LERNBLATT A 15

# Wie kommt das Wasser ins Blatt (im Botanischen Garten)

### ZEIT

90 Min

### MATERIAL

Seerose  
Behälter mit Wasser  
Kreiden  
Feuchtes Tuch  
Wäscheklammern, an denen ein Wassertropfen befestigt ist  
Wäscheklammern, an denen Wolken befestigt sind  
Arbeitsblätter  
Bleistifte  
Schreibunterlagen  
Stäbchen, an denen Strohalme befestigt sind  
Vergrößerungsgläser  
Labormäntel  
Laborhandschuhe  
Schutzbrillen  
Zahnbürsten  
Bleiche (Danchlor)  
Kalilauge (KOH)  
Petrischalen  
Küchenpapier  
Briefkuvert  
Schwarzes Papier  
Mikroskop  
Symbole mit Wassertropfen (siehe Mediengalerie, „Wie Pflanzen wachsen“, Modul 9)

Kopie Lernblatt A15

### Fertigkeiten

Beobachten  
Mikroskopieren

### Überblick

Die Module 8 + 9 werden im Botanischen Garten durchgeführt und bauen auf den Vorbereitungen in der Schule auf. Experimente zum Thema Fotosynthese festigen und vertiefen das bereits erarbeitete Wissen. Zusätzlich wird den SchülerInnen die Möglichkeit gegeben, den Botanischen Garten selbständig zu erkunden. Modul 9 geht der Frage nach, wie das Wasser von der Wurzel in die Blätter transportiert wird und wie Kohlendioxid in Blätter gelangt.

### Lernziele

SchülerInnen verstehen, dass das Wasser über spezielle Gefäße (Leitgefäße) von den Wurzeln in die Blätter transportiert wird.

Sie verstehen auch, dass Wassertransport in den Pflanzen kein aktiver Pumpvorgang sondern ein passiver, durch die Wasserverdunstung an den Spaltöffnungen angetriebener Transport ist.

SchülerInnen wiederholen die Bedeutung der Spaltöffnungen.

### Vorbereitung

Für den Nachweis der Blattskelette müssen geeignete Blätter (*Fagus sylvatica*, *Ficus benjamina*, *Ficus religiosa*) für 45 Minuten in 10 %iger Kalilauge (KOH) gekocht werden.

Frisch gepflückte Blätter, mit einem starken Blattskelett werden verwendet. Gib etwa doppelt so viele Blätter wie SchülerInnen in die einen 1/2 Liter 10 %ige Kalilauge und erwärme die Lösung in einem heißen Wasserbad für etwa 45 Minuten. Bis zur weiteren Verwendung verbleiben die Blätter in einer Schüssel mit kaltem Wasser.

### Unterrichtsverlauf

#### Wiederholung

1. Was benötigt eine Pflanze, um Traubenzucker herzustellen und somit wachsen zu können? (Wasser, Kohlendioxid, Licht, Blattgrün).
2. Im Modul 8 wurden Experimente zum Thema Licht und Blattgrün vorgestellt. In diesem Modul werden Versuche zum Thema Wasser und Kohlendioxid durchgeführt.
3. Wie nimmt die Pflanze Kohlendioxid auf? Die SchülerInnen wissen bereits, dass  $\text{CO}_2$  über die Spaltöffnungen, die sich normalerweise an der Blattunterseite befinden, aufgenommen wird.
4. Schneide ein Seerosenblatt ab und halte es in ein Gefäß mit Wasser. Ein/e SchülerIn bläst in den Stängel und die anderen SchülerInnen beobachten, was passiert. An der Blattoberfläche steigen Bläschen auf. Die Bläschen kommen aus den Spaltöffnungen. Die Seerose ist eine der wenigen Pflanzen, die die Spaltöffnungen an der Blattoberseite hat. (Der Versuch funktioniert nur, wenn die Seerosenblätter frisch geschnitten werden, da sich die Spaltöffnungen sehr schnell schließen).
5. Jetzt wissen wir, wie  $\text{CO}_2$  in die Blätter kommt. Aber wie wird Wasser, das ebenfalls für die Fotosynthese benötigt wird, in die Blätter transportiert?



## **Wassertransport in Pflanzen**

1. Frage die SchülerInnen, aus welchen Teilen eine Pflanze besteht. Wurzeln, Blüten, Stängel, Blätter etc..
2. Verschiedene Pflanzen können verteilt werden, sodass die einzelnen Teile gezeigt und berührt werden können.
3. Die SchülerInnen zeichnen mit Kreiden eine riesige Pflanze auf den Boden (groß genug, dass einige SchülerInnen in der Pflanze stehen können). Die SchülerInnen sollen auch die Spaltöffnungen an der Blattunterseite einzeichnen.
4. Wie wird das Wasser von den Wurzeln in die Blätter transportiert? Was glauben die SchülerInnen?
5. Nimm ein feuchtes Tuch. Was passiert mit dem Tuch, wenn ich es in die Sonne hänge? Es wird trocken. Aber wohin verschwindet die Feuchtigkeit? Sammle Ideen der SchülerInnen. Das Wasser im Tuch geht in Form von Wasserdampf in die Luft über. An der Oberfläche des Tuches verdampfen einzelne Wasserteilchen bis das Tuch irgendwann trocken ist. Weil das ganze nur an der Oberfläche des Tuches funktioniert, geht es am schnellsten, wenn das Tuch ganz ausgebreitet und nicht „verknuddelt“ aufgehängt wird.
6. Aber was hat das mit dem Wassertransport in Pflanzen zu tun? Der Wassertransport in den Pflanzen funktioniert ganz ähnlich. Das Wasser wird nicht von der Wurzel in die Blätter gepumpt, sondern wie bei dem Tuch wird durch das Verdampfen einzelner Wasserteilchen an der Blattoberfläche das Wasser durch die Pflanzen transportiert.
7. SchülerInnen stellen sich in der Pflanze von der Wurzel bis zum Blatt auf und reichen sich die Hände. Jede/r SchülerIn ist ein Wasserteilchen. Dazu werden die Wäscheklammern mit den Wassertropfen an der Kleidung der SchülerInnen befestigt.
8. Wenn ein Wasserteilchen jetzt in die Nähe einer Spaltöffnung kommt, passiert genau dasselbe wie bei dem feuchten Tuch. Das Wasserteilchen wird aus dem Blatt gezogen und verdampft. Befestige die Wäscheklammer mit der Wolke an den SchülerInnen und entferne die Wäscheklammer mit den Wassertropfen (siehe Mediengalerie, „Wie Pflanzen wachsen“, Modul 9).
9. Da die einzelnen Wasserteilchen ganz eng miteinander verbunden sind, wird das Wasserteilchen neben dem bereits verdampften an die Spaltöffnung gezogen und verdampft ebenfalls.
10. Was passiert mit dem nächsten Tropfen? Der wird ebenfalls verdampfen.
11. So wandert die ganze Kette langsam von der Wurzel Richtung Blatt.
12. Wenn im Boden genug Wasser gespeichert ist, reißt die Kette nie ab, da immer wieder neue Wasserteilchen über die Wurzeln aufgenommen werden können.
13. Was passiert aber, wenn die Pflanze über die Wurzeln kein Wasser mehr aufnehmen kann (weil kein Wasser vorhanden oder weil das Wasser im Winter gefroren ist). Wasser verdunstet an den Spaltöffnungen nur so lange, wie Wasser über die Wurzeln nachkommt. Sobald kein Wasser mehr nachkommt, schließen sich die Spaltöffnungen und somit wird der Wassertransport gestoppt.
14. Was passiert, wenn die Spaltöffnungen geschlossen sind? Kann die Pflanze, dann noch Fotosynthese betreiben? Warum nicht? Weil sie kein Kohlendioxid mehr aufnehmen kann.



### **WasserleitgefäÙe in den Pflanzen**

1. Das Wasser wird in den Pflanzen in speziellen Kanälen (den Leitungsbahnen) in die Blätter transportiert. Diese Kanäle kann man – wenn man genau schaut – auch oft an den Stängeln oder Blättern der Pflanzen sehen.
2. Teile die SchülerInnen in kleine Gruppen. Gib ihnen Lernblatt A15, Vergrößerungsgläser und Stäbchen, an denen jeweils ein Strohhalm befestigt ist.
3. WissenschaftlerInnen machen nicht immer Experimente, um etwas herauszufinden oder zu beweisen. Oft beobachten sie einfach ganz genau die Natur und sammeln so ihre Beweise.
4. Die einzelnen Gruppen suchen im Botanischen Garten zwei Pflanzenarten, bei denen sie Teile des Wassertransportsystems gut erkennen können. Bei diesen Pflanzen stecken sie ihr Stäbchen in die Erde und notieren ihre Beobachtungen auf Lernblatt A15.
5. Gehe gemeinsam mit den SchülerInnen zu den einzelnen markierten Pflanzen. Warum haben die SchülerInnen diese Pflanzen markiert?
6. Nachdem alle Pflanzen besucht worden sind, schauen wir uns nun genauer die TransportgefäÙe in den einzelnen Blättern an. Dazu entfernen wir von den bereits vorbereitenden Blättern das ganze Blattmaterial zwischen den Leitungsbahnen.

### **Isolieren von WasserleitgefäÙen in Blättern**

1. Jede/r SchülerIn bekommt einen Labormantel, eine Schutzbrille und Laborhandschuhe.
2. WissenschaftlerInnen verwenden Labormäntel nur, um ihre Kleidung vor Verschmutzung zu schützen und tragen sie nicht ständig. Die Handschuhe und Schutzbrillen verwenden wir, damit unsere Augen und Hände nicht in Kontakt mit den Chemikalien kommen, in denen die Blätter gelegen sind. Falls Kinder Brillen tragen, reichen diese aus.
3. Abbildungen zu diesem Versuch siehe Mediengalerie, „Wie Pflanzen wachsen“, Modul 9
4. Alle SchülerInnen bekommen zwei Blätter Küchenpapier und eine Zahnbürste.
5. Die SchülerInnen legen ein Blatt aus der Wasserschüssel auf das Küchenpapier und entfernen die Substanzen zwischen den LeitgefäÙen mit einer Zahnbürste.
6. Die SchülerInnen starten am unteren Blattende und bürsten von innen nach außen das Blattgrün.
7. Sobald man das Blattskelett gut erkennen kann, wird das Blatt in die Bleiche gelegt, bis es die gewünschte weiÙe Farbe hat.
8. Die SchülerInnen nehmen das Blatt aus der Bleiche, spülen es in einer Wasserschüssel aus und trocknen es mit Hilfe eines Küchenpapiers.
9. Die SchülerInnen können ihr Blatt unter dem Mikroskop betrachten.
10. In einem beschichteten Briefkuvert können die SchülerInnen ihr Blatt mit nach Hause nehmen.



## Hintergrundinformation

Die Pflanze nimmt Wasser über den Boden auf und leitet es über die Leitbündel durch die Pflanze. „Motor“ für den Wassertransport in Pflanzen ist die Verdunstung des Wassers an den Spaltöffnungen.

Aufgrund der physikalischen Eigenschaften der Wassermoleküle ziehen sich Wassermoleküle gegenseitig an und bilden so lange Ketten. Durch die Verdunstung einzelner Wassermoleküle an den Spaltöffnungen wird diese Kette von der Wurzel bis zu den obersten Blättern oder Blüten transportiert. Diese Strecke kann bei einem Mammutbaum über 100 Meter betragen.

Sobald diese Wasserkette abreißt (z. B. bei extremer Trockenheit oder gefrorenem Boden), kann kein Wassertransport mehr stattfinden. Bei starker Trockenheit schließen die Pflanzen die Spaltöffnungen, um Wasserverlust zu vermeiden.

Bei geschlossenen Spaltöffnungen kann die Pflanze jedoch kein  $\text{CO}_2$  aufnehmen und deshalb auch keine Fotosynthese betreiben. Die Pflanze hungert lieber, bevor sie Gefahr läuft auszutrocknen.

Die Leitbündel bestehen aus drei Teilen: Der Holzteil ist für den Transport von Wasser zuständig, der Bastteil für den Transport vom in den Blättern gebildeten Zucker und anderen Assimilaten. Die Wachstumszone ist eine Ansammlung von Zellen, aus denen neuer Bast oder neues Holz gebildet wird.

Die Leitgefäße sind oft von Stützelementen umgeben, durch welche die Leitbündel geschützt und in Form gehalten werden. Aufgrund dieser Stützelemente sind die Leitgefäße bei vielen Pflanzen auch ohne Vergrößerungsglas gut sichtbar (Blattskelett oder Leitgefäße an den Stängeln krautiger Pflanzen).

# Beobachtungsprotokoll



**Ort:** Botanischer Garten Innsbruck

**Tag:**

**Forscherteam:**



**Pflanzenname:**

**Wo habe ich die Pflanze gefunden:**

**An welchen Pflanzenteilen kann ich die Wasserleitgefäße besonders gut sehen:**



**Pflanzenname:**

**Wo habe ich die Pflanze gefunden:**

**An welchen Pflanzenteilen kann ich die Wasserleitgefäße besonders gut sehen:**

**Viel Spaß!**



## Wie Pflanzen wachsen

MODUL 10: LERNBLATT A 16

# Wie Pflanzen wachsen

### ZEIT

90 Min

### MATERIAL/GRUPPE

Stifte  
A2 Papier  
Fotos der Experimente  
Schere  
Kleber

Kopie Lernblatt A16

### FERTIGKEITEN

Diskutieren  
Argumentieren  
Vernetztes Denken  
Präsentieren

### SCHLÜSSELWORTE

Alle während des  
Projektes erarbeiteten  
Schlüsselworte

### FÄCHERÜBER- GREIFENDE AKTIVITÄT

Sachunterricht  
Bildnerische Erziehung

## Überblick

Diese Einheit dient als Wiederholung und Lernkontrolle. Die SchülerInnen erstellen „Concept-Maps“ zum Thema Fotosynthese. Alle erarbeiteten Schlüsselworte und Fotos der durchgeführten Experimente werden zueinander in Beziehung gestellt. Es entstehen Plakate, die im Klassenzimmer oder in der Schule aufgehängt werden können.

## Lernziele

SchülerInnen können, die während des Projektunterrichts erarbeiteten Schlüsselworte in Beziehung zueinander setzen.

SchülerInnen können Fotos der einzelnen Experimenten den jeweiligen Schlüsselworten bzw. Schlüsselkonzepten zuordnen.

## Unterrichtsverlauf

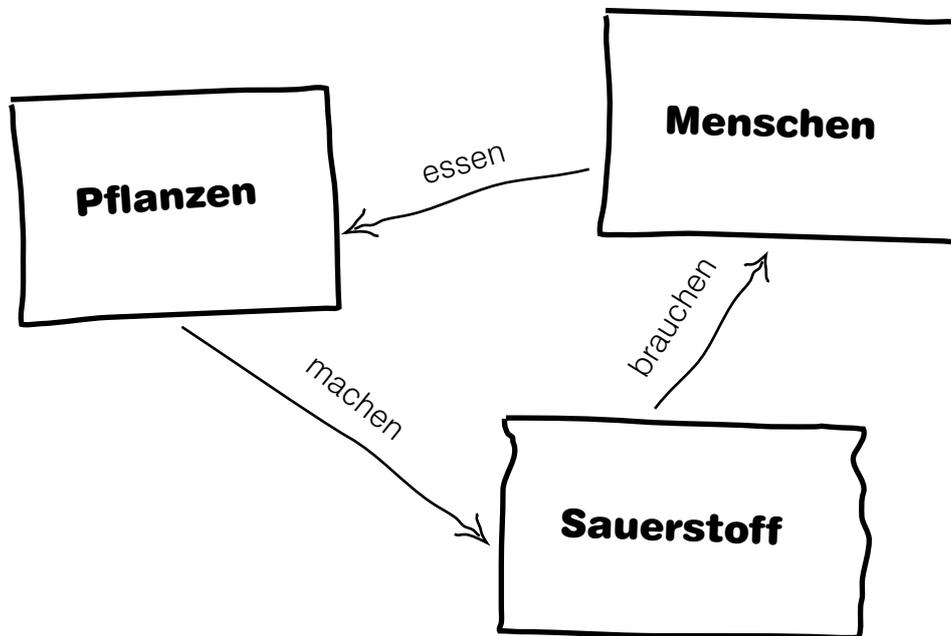
1. Teile die SchülerInnen in Gruppen ein.
2. Demonstriere die Methode des Mapping mithilfe der Hintergrundinformation an einem einfachen Beispiel an der Tafel.
3. Teile pro Gruppe eine Kopie des Lernblattes und einen Flipchartbogen aus.
4. Erkläre den Arbeitsablauf:
  - a. Die SchülerInnen schneiden die einzelnen Begriffskärtchen aus.
  - b. Die SchülerInnen ordnen die Karten auf dem Flipchartbogen so an, wie sie ihrer Meinung nach zusammenhängen. Falls ein Begriff nicht dazupasst, kann er weggelegt werden.  
Falls zusätzliche Begriffe benötigt werden, können leere Kärtchen beschriftet werden. Bevor Entscheidungen gefällt werden, müssen sie mit den anderen Gruppenmitgliedern besprochen werden.
  - c. Wenn alle übereinstimmen, kann das Kärtchen auf das Plakat geklebt werden.
  - d. Zwischen den Kärtchen, die zusammen gehören, wird eine Linie gezeichnet.
  - e. Auf die Linien werden einzelne Worte geschrieben, die zeigen, wie die einzelnen Begriffe zusammengehören.
5. Wenn alle Gruppen fertig sind, werden die Fotos der Experimente ausgeteilt.
6. Erkläre den Arbeitsauftrag:
  - a. Die Schüler sollen diskutieren, was sie mit dem jeweiligen Experiment beweisen konnten.
  - b. Die Fotos sollen einem oder mehreren Begriffen zugeordnet werden.
  - c. Wenn alle übereinstimmen, kann das Foto auf das Plakat geklebt werden.
  - d. Zwischen dem Foto und den dazu passenden Begriffen wird eine Linie gezogen.
7. Jede Gruppe präsentiert ihr Plakat.



## Hintergrundinformation

„Concept Maps“ sind sehr gut zur Wiederholung bereits gelernter Inhalte und zur Lernkontrolle geeignet. Dabei geht es jedoch nicht darum, Faktenwissen zu überprüfen, sondern vielmehr um zu sehen, ob die SchülerInnen ein bestimmtes Konzept verstanden haben. Es werden den SchülerInnen, die während des Projektes erarbeiteten Schlüsselworte vorgegeben und sie sollen diese zueinander in Beziehung setzen.

Die SchülerInnen sollen Begriffe, die ihrer Meinung nach zusammengehören, durch Linien verbinden und diese Linien beschriften. Die genaue Vorgehensweise wurde unter dem Punkt „Unterrichtsverlauf“ beschrieben.



### Beispiel für eine Concept Map (die SchülerInnen bekommen andere Begriffskärtchen)

Nachdem die Gruppen ihre eigenen Concept Maps erstellt haben, werden die Fotos der einzelnen Experimente ausgeteilt. Die SchülerInnen sollen überlegen, wie die einzelnen Fotos zu den Begriffen der Concept Map passen. Dadurch wird das Prozessdenken der SchülerInnen gefordert. Es geht nicht nur darum zu wissen, was ich weiß, sondern auch um die Frage, woher ich weiß, was ich weiß. Was konnte ich mit dem jeweiligen Experiment beweisen?

# Wiederholung: Wie Pflanzen wachsen



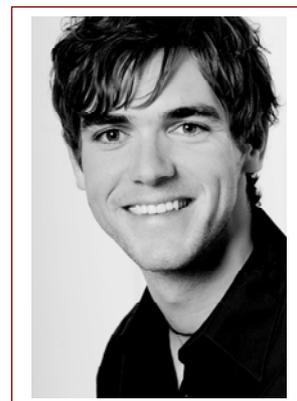
<b>Blattgrün</b>	<b>Nährstoffe</b>	<b>viel Kohlendioxid</b>
<b>Sauerstoff</b>	<b>Blatt</b>	<b>Spaltöffnungen</b>
<b>Kohlendioxid</b>	<b>Blattnerven</b>	<b>Wasser</b>
<b>Wurzel</b>	<b>Licht</b>	<b>Traubenzucker</b>
<b>Pflanzenwachstum</b>	<b>Stärke</b>	<b>Einatemungsluft</b>
<b>Ausatmungsluft</b>	<b>viel Sauerstoff</b>	<b>wenig Sauerstoff</b>
<b>wenig Kohlendioxid</b>	<b>Stärkespeicher</b>	



## Lebenslauf von Mag. Christian Bertsch

### Kontakt

Christian Bertsch  
Strozzigasse 32-34/2/10  
1080 Wien  
Tel: 0650/8001025  
Email: bertsch.christian@gmail.com  
Skype : christianbertsch



### Persönliche Daten

Name: Christian Bertsch  
Geboren am: 25.01.1980  
Nationalität: Österreichisch

### Ausbildung

2006 Beginn des Doktoratsstudiums am Institut für LehrerInnenbildung und Schulforschung, Universität Innsbruck

Schwerpunkte: scientific literacy, forschendes Lernen, Lernen in informellen Lernumgebungen, gemäßigter Konstruktivismus, Diffusion von Innovationen im Bildungsbereich

2005 Abschluss des Lehramtsstudiums Biologie/Umweltkunde und Bewegung/Sport

Schwerpunkte in Biologie: nachhaltige Entwicklung, ökologische Landwirtschaft, Ethnoökologie und Ethnobotanik

Schwerpunkte in Bewegung und Sport: Didaktik von natur- und erlebnisorientierten Sportarten (Sportklettern, Skitouren,...), gruppensdynamische Prozesse, soziales Lernen

1998 Maturaabschluss am Humanistischen Gymnasium in Feldkirch

### Fortbildungen und zusätzliche Qualifikationen

2006 Kurse zur Sozialen Netzwerkanalyse an der Fakultät für Interdisziplinäre Forschung (IFF) in Wien

2006 Kurs zu „Sustainable Rural Development“ gelehrt von Gary Martin von der Global Foundation of Biocultural Diversity an der Universität für Bodenkultur, Wien

- 2006 Kurs zur Anwendung von Atlas.ti 5 für die computerunterstützte qualitative Datenanalyse (CAQDAS)
- 2005 Internationaler Sommerkurs für Methoden in der ethnobiologischen Forschung, gelehrt von Rajindra Puri von der University of Kent (Canterbury, England) und Christian R. Vogl von der Universität für Bodenkultur Wien
- 2004 Fortbildung in Erlebnis- und Outdoorpädagogik, Universität Wien
- 2000-05 Besuch mehrerer Sprachkurse in Guatemala und Brasilien

### **Wissenschaftliche Tätigkeiten**

- 2006-07 20 Monate wissenschaftlicher Mitarbeiter im EU-Projekt „Plant Science Gardens“ zu forschend-entwickelndem Unterricht in informellen (Botanische Gärten) und formellen (Volksschulen) Bildungseinrichtungen in Innsbruck
- 2006 4 Monate wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Ökologischen Landbau an der Universität für Bodenkultur, Wien im Rahmen eines FWF-Projektes zu „Lokales ökosystemares Wissen zu Boden und Wetter“ und eines BM: LFUW Projektes zu „Lokalem Wissen zu alternativen Heilmethoden in der Tierheilkunde“
- 2004 6 Monate ethnobotanischer Feldforschung in Cuiabá (Brasilien) für das Erstellen der Diplomarbeit; gefördert von der Julius-Raab-Stiftung und der Universität Wien

### **Lehrtätigkeit**

- 2007/08 Lehrer am Gymnasium Rahlgasse und Gymnasium Marchettigasse, Wien
- 2007/08 Lehrtätigkeit in der LehrerInnenfortbildung an der PH Wien und der PH Oberösterreich
- 2004 Lehrtätigkeit an der Universität von Mato Grosso, Cáceres, Brasilien

### **Tätigkeiten im Bereich LehrerInnenvertretung**

- 2007/08 UnterrichtspraktikantInnenvertreter im Fachausschuss der AHS LehrerInnen Wiens

## **Stipendien und Preise**

- 2007 Gewinner des IMST (Innovations in Mathematic and Science Teaching) Award
- 2007 Stipendium des MNI-Fonds zur Förderung naturwissenschaftsdidaktischer Dissertationen
- 2006 Stipendium des MNI-Fonds zur Förderung naturwissenschaftsdidaktischer Dissertationen
- 2004 Stipendium der Julis-Raab-Stiftung und der Universität Wien zur Durchführung wissenschaftlicher Arbeiten im Ausland

## **Finanzierung des Studiums**

2000-03 Arbeit als Skilehrer (Kinder und Erwachsene) in Westösterreich

## **Sprachen**

Deutsch: Muttersprache

Englisch: Verhandlungssicher

Portugiesisch: Sehr gute Kenntnisse in Wort und Schrift

Spanisch, Französisch: Grundkenntnisse

## **EDV-Kenntnisse**

MS Word, MS Excel, MS Access, MS Powerpoint, Endnote 9.0, MindManager X5

Programme zur Analyse qualitativer Daten: Atlas.ti 5, Audacity 1.2.3, Transcriber 1.5.1

Programme zur Analyse quantitativer Daten: SPSS 15, Anthropic 4

Programme zur Sozialen Netzwerkanalyse: UCINET, Pajek

## **Freizeit**

Sport (Sportklettern, Schwimmen, Alpines Wandern, Skitouren, Skifahren), Film, Literatur, Reisen (mehrmonatige Reisen in Guatemala, Mexiko, Honduras, Bolivien, Brasilien, Marokko, Thailand und Laos)

Wien, am 03.07.2008

## **Publikationsliste von Mag. Christian Bertsch**

### **Vorträge bei wissenschaftlichen Konferenzen**

Bertsch Christian, Kapelari Suzanne, Unterbruner Ulrike (2007). Inquiry-centered primary science: monitoring attitudinal change towards independent investigation during a hands-on Photosynthesis project. Paper presented at the ESERA (European Science Education Research Association) Conference 2007, Malmö, Sweden, 21-25 August 2007.

Kapelari Suzanne, Bertsch Christian, Sladky-Meraner Sabine (2007). Flower Power – the potency of Botanic Gardens in primary school's plant science teaching. Paper presented at the ESERA (European Science Education Research Association) Conference 2007, Malmö, Sweden, 21-25 August 2007.

Bertsch Christian (2007). Scientific literacy im Sachunterricht. Entwicklung, Evaluation und Implementierung „forschend-begründender“ Unterrichtsmaterialien zum Thema Fotosynthese. Paper presented at the 4th IMST (Innovations in Mathematic and Science Teaching) Conference, Innsbruck, Austria, 21-23 September 2007.

Bertsch Christian, Kapelari Suzanne, Krassimir Kossev, Sue Johnson, Gail Bromley & Constantino Bonomi (2006). Hands on Botany: Building bridges between schools and botanic gardens to improve plant science education in European primary schools. Paper presented at the 10th International Congress of Ethnobiology, Chiang Rai, Thailand, 04-09 November 2006.

Bertsch Christian, Christian R. Vogl & Carolina Joana da Silva (2006). The effects of migration on local knowledge systems: comparing knowledge about natural remedies used in primary animal health care in two communities in the Northern Pantanal Matogrossense, Brazil. Paper presented at the 10th International Congress of Ethnobiology, Chiang Rai, Thailand, 04-09 November 2006.

Kapelari Suzanne, Christian Bertsch, Krassimir Kossev, Sue Johnson, Gail Bromley & Constantino Bonomi (2006). Plant Science Gardens - A model for improving plant science education at primary school level by creating cooperations between schools and their local botanic gardens. Paper presented at the 4th Balkan Botanical Congress, Sofia, Bulgaria, 20-26 June 2006.

Vogl Christian, Christian Bertsch, Leopold Feichtinger & Brigitte Vogl-Lukasser (2006). The assessment of ethnobotanical knowledge systems by Social Network Analysis. Paper presented at the 47th Annual Meeting of the Society for Economic Botany, Chiang Mai, Thailand, 05-09 June 2006.

Bertsch Christian, Christian R. Vogl & Carolina Joana da Silva (2005). Ethnoveterinary medicine for cattle and horses in the northern Pantanal Matogrossense, Brazil.

Paper presented at the 4th International Congress of Ethnobotany (ICEB 2005), Yeditepe University, Istanbul, Turkey, 21-26 August 2005.

### **Poster bei wissenschaftlichen Konferenzen**

Bertsch Christian & Suzanne Kapelari (2006). Hands on Botany – Vom Schulversuch zum forschenden Unterricht. Poster presented at the 3rd IMST (Innovations in Mathematic and Science Teaching) Conference, Vienna, Austria, 21-23 September 2006.

Kapelari Suzanne, Christian Bertsch & Sabine Sladky-Meraner (2006). Hands on Botany – Unterricht im botanischen Garten. Poster presented at the 3rd IMST (Innovations in Mathematic and Science Teaching) Conference, Vienna, Austria, 21-23 September 2006.

### **Workshops auf wissenschaftlichen Konferenzen**

Bromley Gail, Suzanne Kapelari, Christian Bertsch, Krassimir Kossev, Sue Johnson & Constantino Bonomi (2006). Teaching across the borders. Workshop organized at the 6th BGCI (Botanic Garden Conservation International) Conference, Oxford, UK, 10-14 September 2006.

### **Beiträge in Tagungsbänden**

Bertsch Christian, Christian R. Vogl & Carolina Joana da Silva (2006). Ethnoveterinary medicine for cattle and horses in the northern Pantanal Matogrossense, Brazil. Proceedings, 4th International Congress of Ethnobotany (ICEB 2005), Yeditepe University, Istanbul, Turkey, 21-26 August 2005.

### **Kapitel in Büchern**

Bertsch Christian, Kapelari Suzanne, Sladky Meraner Sabine, Christanell Anja (2007). Wie Pflanzen leben. In: Pflanzenforscher unterwegs – in der Schule und im Botanischen Garten. Innsbruck University Press (in press).

### **Projektberichte**

Vogl-Lukasser Brigitte, Christian R. Vogl, Martina Bizaj, Susanne Grasser, Christian Bertsch (2006). Local knowledge about plant species collected in the wild with use as animal fodder or veterinary medicine in Tyrol. Research project funded by the BM: LFUW and Tyrolean State Department.

## **Vorträge im Rahmen der LehrerInnenaus- und fortbildung**

Bertsch Christian, Günter Pass (2007). Forschendes Lernen in der Sekundarstufe 1. Fortbildung im Rahmen der Vorlesung „Theorie und Praxis der Fachdidaktik in BU“. Universität Wien

Bertsch Christian, Günter Pass (2008). Forschendes Lernen in der Sekundarstufe 1. Fortbildung im Rahmen der Vorlesung „Theorie und Praxis der Fachdidaktik in BU“. Universität Wien

Bertsch Christian (2008). Forschendes Lernen in der Sekundarstufe 1 am Beispiel Fotosynthese. LehrerInnenfortbildung an der PH Wien

Bertsch Christian (2008). Experimente im Sachunterricht. LehrerInnenfortbildung an der PH Oberösterreich

Bertsch Christian (2008). Concept mapping. Schulinterne LehrerInnenfortbildung am BRG Marchettigasse, Wien

Bertsch Christian (2008). Arbeiten mit „evidence cards“. Schulinterne LehrerInnenfortbildung am BRG Marchettigasse, Wien