

Der Einfluss alternativer und klassischer Experimentiermaterialien auf
die fachdidaktische Qualität des Chemieunterrichts

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Naturwissenschaften

vorgelegt beim Fachbereich 14

der Johann Wolfgang Goethe-Universität

in Frankfurt am Main

von

Laura Bögge

aus Wickede (Ruhr)

Frankfurt (2023)

vom Fachbereich 14 der

Johann Wolfgang Goethe-Universität als Dissertation angenommen.

Dekan: Prof. Dr. Clemens Glaubitz

1. Gutachter: Prof. Dr. Arnim Lühken

2. Gutachterin: Prof. Dr. Katrin Sommer

Datum der Disputation: 23.08.2023

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Identifikation des Einflusses klassischer Labormaterialien und alternativer Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an ein gelungenes Experiment im Chemieunterricht. Dabei umfassen alternative Experimentiermaterialien sowohl Materialien aus der alltäglichen Lebenswelt von Schülerinnen und Schülern als auch Materialien aus dem Bereich der Medizintechnik, die anstelle von Materialien des gängigen Laborbetriebs im Chemieunterricht eingesetzt werden. Um den Einfluss des Experimentiermaterials auf entsprechende Anforderungen untersuchen zu können, wurden im Rahmen eines Mixed-Method-Designs zwei aufeinander aufbauende Studien durchgeführt. Bei Studie I handelt es sich um eine qualitative Interviewstudie unter $N = 13$ Chemielehrkräften, mit denen vor dem theoretischen Hintergrund fachdidaktischer Anforderungen an ein gelungenes Schulexperiment problemorientierte, leitfadengestützte Interviews zu Vor- und Nachteilen beim Einsatz alternativer Experimentiermaterialien und klassischer Labormaterialien im Chemieunterricht geführt wurden. Anhand des gewonnenen Interviewmaterials wurden anschließend zunächst Eigenschaften identifiziert, in denen sich beide Materialpools voneinander unterscheiden, um davon ausgehend ein Kategoriensystem aufstellen zu können, das in Form einer Matrix den Einfluss dieser Materialeigenschaften auf organisatorische, experimentelle und affektive Anforderungen an ein Schulexperiment im Chemieunterricht darstellt. Dabei konnte in Bezug auf organisatorische Anforderungen insbesondere ein Einfluss des Experimentiermaterials auf zeitliche und finanzielle Rahmenbedingungen sowie auf Anforderungen zur Sicherheit beim Experimentieren im Chemieunterricht festgestellt werden. Ergebnisse zum Einfluss des Experimentiermaterials auf affektive und experimentelle Anforderungen an ein Schulexperiment wurden wiederum genutzt, um anschließend Hypothesen zum Einfluss des Experimentiermaterials auf entsprechende Anforderungen an gelungene Experimente im Chemieunterricht zu generieren, dabei an gelungene Schülerexperimente im Speziellen. Diese Hypothesen wurden in einer zweiten Studie quantitativ getestet. Innerhalb eines experimentellen Untersuchungsdesigns führten dazu insgesamt $N = 293$ Schülerinnen und Schüler eines von insgesamt fünf betrachteten Schülerexperimenten mit jeweils klassischem Labormaterial oder in einer jeweiligen Variante aus alternativem Experimentiermaterial durch. Im Anschluss beurteilten $N = 237$ Schülerinnen und Schüler im Rahmen einer Fragebogenerhebung ihre subjektive Wahrnehmung der Experimentiersituation bezüglich der Variablen *Grad der Herausforderung*, *Beobachtbarkeit*, *Autonomieerleben*,

Anspannung/ Druck, Kompetenzerleben und Interesse/ Vergnügen. Mit Ausnahme des Kompetenzerlebens und der Beobachtbarkeit konnte zu allen betrachteten Variablen ein signifikanter Einfluss des Experimentiermaterials festgestellt werden. Um diese Ergebnisse der Hypothesentests näher beschreiben und differenzierter erläutern zu können, beantworteten die 237 Schülerinnen und Schüler zusätzlich offene Fragen zu den von ihnen verwendeten Experimentiermaterialien; mit $N = 56$ weiteren Schülerinnen und Schülern wurden aus diesem Grund außerdem leitfadengestützte Gruppeninterviews geführt. Um folglich auch aus Schülerperspektive möglichst allgemeingültige Einflüsse beider Materialpools auf fachdidaktische Anforderungen an ein gelungenes Schulexperiment zusammenfassen zu können, werden die Ergebnisse dieser qualitativen Datenerhebung ebenfalls in Form einer entsprechenden Matrix dargestellt und dabei von den konkret durchgeführten Experimenten abstrahiert. Neben dem bereits genannten Einfluss des Experimentiermaterials auf den von Schülerinnen und Schülern wahrgenommenen Grad der Herausforderung, das wahrgenommene Autonomieerleben, die/ den wahrgenommene/n Anspannung/ Druck beim Experimentieren sowie das wahrgenommene Interesse/ Vergnügen an der Experimentiersituation konnte dadurch insbesondere ein Materialeinfluss auf die Durchschaubarkeit eines Versuchsaufbaus und deren einzelner Bestandteile sowie auf die wahrgenommene Authentizität einer Experimentiersituation identifiziert werden. Dadurch zeigt die Gesamtuntersuchung auf theoretischer Ebene die Bedeutsamkeit des konkreten Experimentiermaterials als Qualitätsmerkmal des Chemieunterrichts und gibt Lehrkräften auf unterrichtspraktischer Ebene einen Überblick zu Potentialen und Grenzen alternativer Experimentiermaterialien im Vergleich zu etabliertem klassischem Labormaterial.

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Inhalt..... | i |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Theoretische Grundlagen | 6 |
| 2.1 Alternatives und klassisches Experimentiermaterial – eine Definition..... | 6 |
| 2.2 Alternatives Experimentiermaterial im Chemieunterricht | 12 |
| 2.2.1 Gründe und Grenzen..... | 12 |
| 2.2.2 Stand der Forschung | 16 |
| 2.3 Das Lehr-/ Lernmaterial als Merkmal von Unterrichtsqualität | 20 |
| 2.4 Der experimentelle Chemieunterricht – Theorie und Praxis | 23 |
| 2.4.1 Ziele und Wirksamkeit | 23 |
| 2.4.2 Fachdidaktische Anforderungen an ein Schulexperiment | 28 |
| 2.5 Zentrale Fragestellungen der Arbeit | 42 |
| 3 Allgemeines Untersuchungsdesign | 44 |
| 4 Studie I – die Perspektive von Lehrkräften | 46 |
| 4.1 Stichprobenbeschreibung..... | 46 |
| 4.2 Methode der Datenerhebung: Problemzentrierte Leitfadenterviews..... | 48 |
| 4.3 Methode der Datenauswertung: Qualitative Inhaltsanalyse | 51 |
| 4.4 Ergebnisse..... | 54 |
| 4.4.1 Eigenschaften von Experimentiermaterialien..... | 54 |
| 4.4.2 Einfluss des Experimentiermaterials auf organisatorische Anforderungen an ein Schulexperiment | 56 |
| 4.4.3 Einfluss des Experimentiermaterials auf experimentelle und affektive Anforderungen an ein Schulexperiment | 68 |
| 4.4.4 Reliabilität der Ergebnisse..... | 85 |
| 4.5 Zusammenfassung und Hypothesenbildung..... | 86 |
| 4.6 Limitationen | 93 |
| 4.7 Auswirkungen der Ergebnisse auf Studie II | 95 |
| 5 Studie II – die Perspektive von SchülerInnen..... | 97 |
| 5.1 Untersuchungsdesign..... | 97 |
| 5.2 Methoden und Erhebungsinstrumente | 102 |
| 5.3 Experiment- und Materialauswahl..... | 106 |
| 5.4 Stichprobenbeschreibung..... | 113 |
| 5.5 Ergebnisse..... | 115 |
| 5.5.1 Ergebnisse der Hypothesentests (quantitative Daten, QUAN)..... | 115 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 5.5.2 | Ergebnisse der Gruppeninterviews und offenen Fragen (qualitative Daten, QUAL)..... | 128 |
| 5.5.3 | Integration der Ergebnisse – QUAN + QUAL | 134 |
| 5.6 | Limitationen | 156 |
| 5.6.1 | Limitationen der quantitativen Ergebnisse | 156 |
| 5.6.2 | Limitationen der qualitativen Ergebnisse | 157 |
| 6 | Interpretation der Ergebnisse der Gesamtuntersuchung..... | 159 |
| 7 | Zusammenfassung | 175 |
| 7.1 | Zusammenfassung des Vorgehens..... | 175 |
| 7.2 | Zusammenfassung der Ergebnisse..... | 179 |
| 7.3 | Theoretische und praktische Implikationen..... | 182 |
| 7.4 | Ausblick..... | 185 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 188 |
| 9 | Abbildungsverzeichnis | 206 |
| 10 | Tabellenverzeichnis | 208 |
| 11 | Anhang..... | 210 |
| | Anhang A..... | 211 |
| | Anhang B..... | 213 |
| | Anhang C..... | 228 |
| | Anhang D..... | 232 |

1 Einleitung

Schulunterricht wird in der fachdidaktischen Forschungslandschaft primär aus zwei Perspektiven betrachtet: aus der Perspektive der Lehrkräfte oder der Perspektive von Schülerinnen und Schülern.¹ Bei allen guten Absichten fachdidaktischer Innovation bleibt eine grundlegende Perspektive dabei oft unberücksichtigt – die der Wirtschaftlichkeit. Keine Vorschläge zur Verbesserung von Unterrichtsqualität können praktisch umgesetzt werden, wenn dem Schulbetrieb nicht ausreichend finanzielle, materielle und zeitliche Ressourcen zur Verfügung stehen.

Ein Mangel an entsprechenden Ressourcen wird vor allem mit Blick auf den naturwissenschaftlich-experimentellen Unterricht relevant, der in aller Regel sowohl materiell als auch zeitlich erheblich aufwendiger ist als Unterricht ohne einen entsprechenden Praxisanteil. Obwohl dem Experiment als zentraler Methode naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung sowohl in der fachdidaktischen Forschung als auch bei der Formulierung von Bildungsstandards und Kompetenzbereichen eine hohe Wertschätzung zugesprochen wird und ein regelmäßiger Einsatz im Unterricht ausdrücklich erwünscht ist (Hessisches Kultusministerium, 2016), sehen sich Lehrkräfte auf Ebene der Unterrichtspraxis jedoch mit Rahmenbedingungen konfrontiert, die die Umsetzung von Experimenten im regulären Schulbetrieb erheblich erschweren. So kommen Ist-Stand-Analysen zur praktischen Umsetzbarkeit experimentellen Chemieunterrichts seit Jahrzehnten zu ernüchternden Ergebnissen und zeigen teilweise sogar einen gänzlichen Verzicht auf Experimente. Als Gründe angeführt werden unter anderem knappe Lehrmittelbudgets, materiell nicht ausreichend ausgestattete Chemiesammlungen, ein Mangel an Fachräumen bei hohen Schülerzahlen sowie ein chronischer Zeitmangel im Unterricht und in dessen Vor- und Nachbereitung (Helgeson, Blosser & Howe, 1977; Nentwig, 1978; Wagner & Bader, 2006; Schaffer & Pfeifer, 2011).

Aufgrund dieser Diskrepanz aus theoretischer Wertschätzung und realistischem Schulalltag wurden im Laufe der Jahre zunehmend mehr Überlegungen angestellt, den experimentellen Chemieunterricht zeiteffizienter und kostengünstiger zu gestalten. Ein Ansatz liegt dabei in der Verringerung von verwendeten Chemikalienmengen und

¹ Lediglich zur Verbesserung des Leseflusses werden Schülerinnen und Schüler im Folgenden als *SchülerInnen* zusammengefasst. Gleiches gilt für alle weiteren Bezeichnungen von Personengruppen, beispielsweise TeilnehmerInnen, ChemikerInnen oder MitarbeiterInnen.

Materialkosten, indem Experimente nicht mehr mit Materialien des gängigen Laborbedarfs umgesetzt werden, sondern auf alternative Experimentiermaterialien aus dem Bereich der Medizintechnik oder auf Alltagsmaterialien zurückgegriffen wird, die für den experimentellen Zweck umfunktioniert werden. Abbildung 1 zeigt Beispiele für solche alternative Experimentiermaterialien, darunter Blisterpackungen und Teelichthüllen als Alternativen zu Chemikalien- und Reaktionsgefäßen, Kerzen- oder Mikrobrenner als Alternativen zu Gasbrennern, Kunststoffspritzen verschiedener Volumina als Ersatz für Kolbenprober, Tropftrichter oder Büretten und handelsübliche Blockbatterien, Batterieclips oder Mini-Leuchtdioden als Pendant zu klassischen Labormaterialien der Elektrochemie. Denkbar sind beispielsweise Elektrolyse-Experimente in einer Blisterpackung (El-Marsafy & Schwarz, 2002b), Titrations in einer 1 ml-Kunststoffspritze (Poppe, Markic & Eilks, 2010), chemische Reaktionen in Sektflaschenverschlüssen (Marohn, Schillmüller & Stucky, 2021) oder vielfache Experimente zur Handhabung von Gasen mittels Kunststoffspritzen (z.B. Borstel & Böhm, 2004). Am oberen Bildrand ist außerdem ein Vorschlag für einen alternativen Aufbau einer Destillationsapparatur abgebildet, der auf Ampullengläser, Silikonschläuche und Kanülen zurückgreift und über einem Teelicht erhitzt werden kann (El-Marsafy, Schwarz & Najdoski, 2011).



Abbildung 1. Exemplarische Auswahl alternativer Experimentiermaterialien.

Eindeutig können durch den Einsatz alternativer Experimentiermaterialien Materialkosten eingespart werden; im fachdidaktischen Diskurs wird daher auch die Bezeichnung *Low-Cost-Materialien* verwendet. Ziel ist es, dadurch das Material in hoher Stückzahl zur Verfügung stellen zu können und das eigenständige Experimentieren in Kleingruppen auch bei hohen Schülerzahlen zu ermöglichen. Gleichzeitig wird der Vorteil reduzierter Chemikalienmengen betont, wodurch sich Reaktionszeiten verkürzen und die Sicherheit beim Experimentieren erhöhen lassen. Der Einsatz alternativer Experimentiermaterialien wird daher sehr positiv beworben. Vorreiter in der Entwicklung chemischer Versuchsaufbauten mit Hilfe medizintechnischer Materialien werben mit Titeln wie ‘Small is beautiful’, dass auch Schülerexperimente durch alternative Versuchsaufbauten „viel rascher und sicherer durchgeführt werden [können], als sich das Pioniere des chemischen Schul-experiments je erträumen konnten“ (Obendrauf, 2000, S. 1). Auch Berichte über den unterrichtspraktischen Einsatz alternativer Experimentiermaterialien sind überwiegend positiv, stammen aber teilweise von Vermarktern entsprechender Materialien und/ oder sind in Bezug auf ihre Stichproben sowie Untersuchungsmethodik empirisch nicht hinreichend fundiert (z.B. Borstel & Böhm, 2004; El-Marsafy & Schwarz, 2002a).

Bislang ist unklar, ob alternative und bisher eingesetzte klassische Experimentiermaterialien gleichermaßen den Qualitätsansprüchen eines Experiments im Chemieunterricht entsprechen, darunter die Handhabbarkeit der Experimentiermaterialien, die Beobachtbarkeit von Experimenten oder das Potential, das Interesse von SchülerInnen an Naturwissenschaften und der Chemie im Speziellen zu wecken. Um einen sowohl experimentell als auch fachdidaktisch wertvollen Chemieunterricht gewährleisten zu können und auszuschließen, dass es aufgrund ökonomischer Entscheidungen zu einer Verschlechterung der fachdidaktischen Qualität des experimentellen Chemieunterrichts kommt, ist das zentrale Anliegen dieser Forschungsarbeit ein direkter Vergleich von alternativen Experimentiermaterialien und klassischen Labormaterialien mit Blick auf entsprechende Qualitätsansprüche. Dabei liegt das Ziel der Untersuchung nicht in einer Entscheidung für oder gegen den einen oder anderen Materialpool, sondern explizit in der Identifikation ihrer jeweiligen Chancen und Grenzen für den Chemieunterricht. Dazu wird der Einsatz beider Materialpools sowohl aus der Perspektive von Lehrkräften als auch der Perspektive von SchülerInnen untersucht.

Gliederung der Arbeit

Kapitel 2 bildet die theoretische Untermauerung dieser Arbeit. Dazu werden alternative und klassische Materialpools zunächst definiert (Abschnitt 2.1) und Beweggründe sowie bisherige Forschungsergebnisse bezüglich ihres Einsatzes im naturwissenschaftlichen Unterricht dargestellt (Abschnitt 2.2). Um die Relevanz eines Materialvergleichs als Forschungsdesiderat zu legitimieren, wird das Experimentiermaterial anschließend als Einflussfaktor auf die Qualität des Fachunterrichts herausgearbeitet (Abschnitt 2.3). Da sowohl alternative Experimentiermaterialien als auch klassische Labormaterialien den Qualitätsansprüchen eines gelungenen Schulexperiments entsprechen sollen, werden anschließend Ergebnisse einer Literaturrecherche zu Zielen von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht zusammengefasst (Abschnitt 2.4.1) sowie Anforderungen an Schulexperimente dargestellt, um die jeweiligen Ziele in der Unterrichtspraxis auch tatsächlich zu erreichen (Abschnitt 2.4.2). Dabei wird im Speziellen herausgearbeitet, wie der Aspekt des Experimentiermaterials konkret auf jene Anforderungen Einfluss nehmen kann. Ausgehend von diesen theoretischen Grundlagen werden die zentralen Forschungsfragen der Arbeit formuliert (Abschnitt 2.5), die durch zwei aufeinander aufbauende Studien zur Perspektive von Lehrkräften beziehungsweise SchülerInnen auf die Arbeit mit klassischem Labormaterial beziehungsweise alternativen Experimentiermaterialien beantwortet werden. Inwiefern beide Studien zusammenhängen, wird in Kapitel 3 zur Darstellung der Gesamtuntersuchung und deren Anlage im Mixed-Method-Design erklärt. Im Anschluss daran werden beide Studien nacheinander präsentiert. So handelt es sich bei Studie I um eine Interviewstudie unter Lehrkräften zur Erhebung ihrer Einschätzung zu Vor- und Nachteilen alternativer Experimentiermaterialien und klassischer Labormaterialien in Bezug auf fachdidaktische Anforderungen an ein gelungenes Experiment im Chemieunterricht. Sowohl die Stichprobe, die Methodik als auch die Ergebnisse und Limitationen dieser Studie werden in Kapitel 4 der Arbeit dargelegt und begründet. Aus den Ergebnissen dieser ersten Studie ergeben sich außerdem Design und Methodik der Anschlussstudie II zur Erhebung der Schülerperspektive und dem Einfluss der jeweiligen Experimentiermaterialien auf ihre Wahrnehmung einer Experimentiersituation. Dazu wurden sowohl quantitative als auch qualitative Daten erhoben, nachdem SchülerInnen typische Schülerexperimente sowohl mit alternativen Experimentiermaterialien als auch mit klassischen Labormaterialien durchgeführt haben. Die Wahl der Experimente und damit die konkrete Materialauswahl sowie die Umsetzung dieser zweiten Studie werden

in Kapitel 5 erläutert. Nach einer Integration der qualitativen Daten in die quantitativen Daten (Abschnitt 5.5.3) werden die Ergebnisse beider Studien und somit beider Perspektiven miteinander verglichen und gemeinsam vor dem theoretischen Hintergrund der Arbeit interpretiert, um Chancen und Grenzen beider Materialpools zusammengefasst darstellen zu können (Kapitel 6). Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung des Vorgehens und der zentralen Ergebnisse, theoretischen wie praktischen Implikationen der Untersuchung sowie einem Ausblick auf anschließende Forschung (Kapitel 7).

2 Theoretische Grundlagen

In einem ersten Schritt wird die Entwicklung vom klassischen Labormaterial hin zur Idee des Einsatzes alternativer Experimentiermaterialien im Schulunterricht skizziert und die jeweiligen Materialpools für den Rahmen dieser Arbeit definiert (Abschnitt 2.1), um davon ausgehend Gründe für den Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im Chemieunterricht zu beschreiben sowie bisherige Forschungsarbeiten zum Untersuchungsgegenstand zusammenzufassen (Abschnitt 2.2).

2.1 Alternatives und klassisches Experimentiermaterial – eine Definition

Klassisches Labormaterial

“The scientist is a man who wears a white coat and works in a laboratory. . . He is surrounded by equipment: test tubes, bunsen burners, flasks and bottles. . . He spends his days doing experiments. He pours chemicals from one test tube into another”

Aussagen von SchülerInnen zum stereotypischen Bild eines Naturwissenschaftlers
(Mead & Métraux, 1957, 386 f).

Die Vorstellung des grauhaarigen Mannes mit Hornbrille und im weißen Kittel, umgeben von Symbolen der Wissenschaft und Labormaterialien dominiert noch immer das kindliche bis jugendliche Bild des stereotypischen Naturwissenschaftlers (Chambers, 1983; Stamer, Kubsch, Thiele, Höffler, Schwarzer & Parchmann, 2019). Auch sein Labor wird selbst von SchülerInnen, die noch nie eines betreten haben, als „zentrale Wirkungsstätte“ (Höttecke, 2001, S. 49) des Naturwissenschaftlers beschrieben. Dass auch Labormaterialien in diesem Bild fest verankert sind, ist wenig verwunderlich, schließlich gehören Materialien wie der Gasbrenner, der Erlenmeyerkolben, der Büchnertrichter, das Thermometer, die Bürette oder der Liebigkühler bereits seit dem 18. Jahrhundert zur Standardausrüstung eines Chemielabors, die seither in ihrem Bestand vor allem um hitze- und chemikalienbeständige, gegebenenfalls messgenauere Glasmaterialien erweitert wurde. Auch in dieser Arbeit wird unter *klassischem Labormaterial*² das grundlegende Handwerkzeug von im Labor tätigen ChemikerInnen der (an-) organischen Chemie verstanden, das auch in einer durchschnittlich ausgestatteten Schulsammlung vorhanden ist. Zusätzlich zu den bereits genannten fallen darunter einfache Glasmaterialien (u.a. Reagenz- und

² Die Begriffe *klassisches Experimentiermaterial* und *klassisches Labormaterial* werden in dieser Arbeit synonym verwendet.

Bechergläser, Mess- und Standzylinder), komplexere (Schliff-) Glasgeräte wie Rundkolben, Tropftrichter oder Kolbenprober, Stativmaterial (DreifüÙe, Muffen, Klemmen) sowie gängige Hilfsmittel wie Mörser und Pistill, Glas- oder Pulvertrichter, Tiegel und Tiegelzangen, Spatel oder Reagenzglasständer. Elektronische Standardgeräte des schulischen Bereichs werden in dieser Arbeit ebenfalls als *klassisches Labormaterial* bezeichnet (bspw. Magnetrührer, Heizplatten, Spannungsquellen). Mit Ausnahme der letztgenannten elektronischen Geräte stellen alle genannten Materialien sowie die mit ihnen verknüpften Arbeitstechniken ein Alleinstellungsmerkmal der Chemie dar; ihre entsprechenden Bezeichnungen dienen innerhalb der wissenschaftlichen Disziplin und ihrer darin agierenden TeilnehmerInnen aus Industrie, Forschung und Lehre dem weltweiten fachlichen Austausch und dem Verständnis untereinander. Als Definition für klassisches Labormaterial gilt in dieser Arbeit folglich:

Arbeitsdefinition

Klassisches Labormaterial: Unter klassischen Labormaterialien werden all jene Materialien verstanden, die dem traditionellen Laborbedarf zugeordnet werden und explizit für die Verwendung in chemischen Experimenten entwickelt wurden.

Da das Experimentieren mit klassischem Labormaterial meist mit einem Chemikalien-einsatz im Makromengenbereich einhergeht, traf der klassische, industrielle Laborbetrieb bereits seit den Anfängen des 20. Jahrhunderts vor allem aus betriebswirtschaftlichen Gründen auf Forderungen zur Ansatzminimierung, gleichzeitig wurde an das Beibehalten etwaiger Ansprüche an die Qualität experimenteller Laborarbeit appelliert. Entsprechende Forderungen wurden zuweilen ebenso als „great revolution“ (Kelkar & Dhavale, 2000, S. 31) wie als „Zwang der Rationalisierung“ (Redeker, 1991, S. 11) aufgefasst. Beide Forderungen in Kombination bedeuteten für Industrie- und Forschungslabore die Notwendigkeit neuer Experimentiermethoden und damit materieller Umstrukturierungen mit neuen Experimentiermaterialien, deren Entwicklung im Folgenden näher beschrieben wird.

Halbmikrotechnik

Ein bahnbrechender Schritt hin zu ansatzminimierten, weiterhin exakten Arbeitstechniken in Laborbetrieben war die Entwicklung der analytischen und präparativen Mikrochemie, vor allem vorangetrieben durch Fritz Pregl (*1869) und Fritz Feigl (*1891), die durch ihre Arbeit im forensischen Bereich sowie bei der Erforschung von

Nachweisreaktionen auf die Identifizierbarkeit kleinster Mengen chemischer Substanzen angewiesen waren. Ihre experimentiertechnischen und materiellen Entwicklungen zum Experimentieren im Mikromengenbereich, darunter die Tüpfelplatte, finden bis heute Anwendung in naturwissenschaftlichen Laboren. Zusätzlich wurden im Zuge dieser Umstrukturierung auch miniaturisierte Versionen klassischer Standardapparaturen, beispielsweise Destillationsapparaturen, entwickelt und seither zahlreiche Fachbücher der anorganischen oder organischen Chemie zum Experimentieren im Mikromaßstab publiziert (z.B. Mayo, Pike & Butcher, 1986; Szafran, Pike & Singh, 1991; Kelkar & Dhavale, 2000; Pike, 2006). Dabei wird sich in Bezug auf die Einteilung verwendeter Chemikalienmengen in der Regel an den in Tabelle 1 dargestellten Angaben von Ackermann (1959) orientiert:

Tabelle 1
Eingesetzte Chemikalienmengen bei analytischen Experimentiertechniken

| | Feststoffe [g] | Flüssigkeiten [ml] |
|-------------------------|----------------|--------------------|
| Makrotechnik | > 0,1 | > 5 |
| Halbmikrotechnik | 0,1- 0,01 | 5- 0,5 |
| Mikrotechnik | 0,01- 0,001 | 0,5- 0,05 |

Eine Reduktion des Chemikalienansatzes ermöglichte sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Perspektive ein effizienteres Experimentieren. So bedeutete eine entsprechende Ressourcenschonung und die damit einhergehende Abfallreduktion einen nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen und Rohstoffen, der gleichzeitig mit einer Kostensenkung einherging, auch in Bezug auf den Entsorgungsaufwand und benötigten Lagerraum. Neben dem weiteren Vorteil verkürzter Reaktionszeiten stieg außerdem die Arbeitssicherheit, zum einen in Bezug auf potentielle Chemikalienkontamination, zum anderen durch die verbesserte Laborluft (Pike, 2006; Singh, Szafran & Pike, 1999).

Für den schulischen Einsatz sind entsprechend miniaturisierte Standardapparaturen, die sich in ihrer Funktion und Qualität nicht von der konventionellen Variante im Makromaßstab unterscheiden, vor allem aus finanziellen Gründen aber auch aufgrund ihrer höheren Genauigkeitsansprüche und geringeren Fehlertoleranz ungeeignet (Schallies, 1991; Singh & Szafran, 2000). Um sich die Vorteile reduzierter Chemikalienmengen dennoch auch für den Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht zu Nutze zu machen, wurde stattdessen die *Halbmikrotechnik* als geeigneter Mittelweg eingestuft. In einem nächsten Schritt wurde daher der Bedarf an einer Weiterentwicklung geeigneter Experimentiermaterialien auch für schulische Zwecke gesehen und entsprechend umgesetzt. International

publik geworden sind Schulexperimente im Halbmikromaßstab vor allem durch das National Microscale Chemistry Center (NMCC) in Massachusetts; im deutschsprachigen Raum finden sich entsprechende Ideen unter anderem bei Keune und Kuhnert (1972), bei Häusler (1993), in der ‘Chemie en miniature’ von Roesky (1998), der Küvettentechnik von Kometz und Krech (1998), in ‘Schallies Minilabor’ (Schallies, 1991) oder dem Mikroglassbaukasten von Baumbach (1989). Statt mit miniaturisierten Standardapparaturen arbeiten die zitierten Experimentiervorschläge überwiegend mit schlichteren, oft durch Schraubverschlüsse und Adapterkupplungen universeller einsetzbaren Glasmaterialien, die, nach Aussagen der Entwickler, eine im Vergleich zu klassischem Labormaterial kreativere, einfachere Handhabung bedeuten und auf diese Weise die Hemmschwelle von SchülerInnen in Bezug auf das praktisch-experimentelle Arbeiten senken können (z.B. Schnelle, 1991). Nichtsdestotrotz werden auch im Rahmen der genannten Beispiele primär Glasmaterialien eingesetzt, die speziell für den experimentellen Zweck produziert werden. Infolgedessen sind die Materialien nicht zwangsläufig preisgünstig, sondern vor allem aufgrund entsprechend hoher benötigter Stückzahl weiterhin mit hohen Anschaffungskosten für Schulen verbunden.

Um gleichermaßen anfallende Materialkosten zu senken, entwickelte sich für den experimentellen Schulunterricht folglich die Idee des Rückgriffs auf Einwegmaterialien aus dem Bereich der Medizintechnik. Diese sind sowohl mit der Halbmikrotechnik zu vereinen als auch kostengünstig zu beschaffen.

Medizintechnik

Durch den Einsatz medizintechnischer Materialien werden vor allem kosten- und wartungsintensive Kolbenprober, Tropftrichter oder Büretten aus Glas durch universell einsetzbare Kunststoffspritzen verschiedener Volumina ersetzt. Diese Spritzentechnik ist mittlerweile weit ausgearbeitet, sodass über Luer-Lock-Verbindungen, Kanülen, Heidelberger-Verlängerungen bis hin zu magnetischen Stativsystemen selbst aufwendige Demonstrationsexperimente entsprechend realisiert werden können. Diesbezüglich bekannte Arbeiten liefern unter anderem Viktor Obendrauf (1996a, 2002) mit Experimentiervorschlägen zum dosierten Umgang mit Gasen, Borstel und Böhm (z.B. 2004) oder Brand (2013), die ein breites Spektrum des curricularen Chemieunterrichts über Experimentieranleitungen mit der Medizintechnik abdecken. Mittlerweile werden für entsprechende Experimentiervorschläge aus dem Bereich der Medizintechnik auch Materialien

zweckentfremdet, die über die reine Spritzentechnik hinausgehen, darunter Magensonden, Infusionsschläuche oder Urinbeutel als Sammelbehälter für Gase und Flüssigkeiten. Für den europäischen Raum bekannt sind unter anderem die Experimentiervorschläge des SALiS-Projektes (Student Active Learning in Science), das über die Aus- und Fortbildung von Lehrkräften im Umgang mit der Medizintechnik das Ziel verfolgt, insbesondere die Häufigkeit von Schülerexperimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht europäischer Länder mit schlechter materieller Ausstattung zu erhöhen, beispielsweise Georgien oder Moldawien (Poppe et al., 2010).

Alltagsmaterialien und umfunktionierte Alltagsmaterialien

Oftmals in Kombination mit Materialien aus der Medizintechnik gehen andere Experimentiervorschläge noch einen Schritt weiter in Richtung preisgünstiger Materialien, indem Haushaltsmaterialien sowie reguläre Wegwerfmaterialien aus der direkten Lebenswelt der SchülerInnen in den Materialpool für schulische Experimente aufgenommen und teilweise entsprechend umfunktioniert werden. Beispielsweise werden Büroklammern oder Bleistiftminen als Elektroden eingesetzt, handelsübliche 9 Volt Blockbatterien als Spannungsquelle verwendet, durch ein Teelicht wird der Bunsenbrenner ersetzt, leere Verpackungsmaterialien wie Nasen- und Augentropfflaschen oder Blisterpackungen aus dem Arznei- und Kosmetikbereich dienen als Ersatz für Petrischalen oder Tüpfelplatten, Teelichthüllen fungieren als Chemikalien- und Reaktionsgefäße, Agraffen als Drei- beziehungsweise Vierfüße und Tetra-Pak[®]-Kartons werden zu Experimentierunterlagen umfunktioniert (z.B. El-Marsafy et al., 2011; El-Marsafy & Schwarz, 2002a; Schwan, 2005; Schwarz & Lutz, 2004; Marohn, Schillmüller & Stucky, 2021).

Tabelle 2 fasst die bislang beschriebenen alternativen Materialpools zusammen.

Tabelle 2
Alternative Materialpools für das Experimentieren im Chemieunterricht

| | Materialpool | Beschreibung | Beispiele |
|----|--|---|---|
| a) | Halbmikro- technik | Miniaturisierte Glasapparaturen im Halbmikromaßstab oder reguläre Materialien eines Chemielabors, die auf die Halbmikro- bis Mikrotechnik ausgelegt sind | Küvettenteknik aus dem Bereich der Spektroskopie, Mikrogasbaukästen |
| b) | Medizin- technik | Eigentliche Einwegmaterialien aus der Medizintechnik, die dort als günstig produzierte Massenware gelten und für den Einsatz im Chemieunterricht ihrem eigentlichen Kontext entlehnt werden | Kunststoffspritzen, Kanülen, Luer-Lock Verbindungen, Heidelberger Verlängerungen, Ampullen-/ Rollrandgläser |
| c) | Alltags- materialien | Gegenstände aus dem Alltag von SchülerInnen ohne explizit chemischen Kontext, die im Alltag sowie im experimentellen Kontext dieselbe Funktion innehaben | Blockbatterien, Leuchtdioden, Teelichter |
| d) | umfunktionierte Alltags- materialien | Gegenstände aus dem Alltag von SchülerInnen ohne explizit chemischen Kontext, die für den experimentellen Einsatz zweckentfremdet werden. Teilweise handelt es sich um eigentliche Wegwerfmaterialien, die durch diese Zweckentfremdung wiederverwendet werden. | Büroklammern, Bleistiftminen, Teelichthüllen, Agraffen, Tablettenblister, Tetra-Pak [®] -Kartons |

In dieser Arbeit werden Materialien der Gruppe b, c und d untersucht, da Experimente, die mit entsprechenden Materialien umgesetzt werden, sowohl im Halbmikromaßstab durchgeführt werden können als auch die Materialien als solche kostengünstig zu beschaffen sind. Damit bieten sie für Schulen das größte Potential zur Umsetzung von mehr Experimenten im Chemieunterricht. Für den Rahmen dieser Arbeit gilt für alternatives Experimentiermaterial demnach folgende Arbeitsdefinition:

Arbeitsdefinition

Alternatives Experimentiermaterial: Alternatives Experimentiermaterial bezeichnet alle Experimentiermaterialien außerhalb des gängigen Laborbedarfs, die (i) auch wenn sie ursprünglich nicht für diesen Zweck entwickelt wurden, geeignet sind, bestimmte für das Experimentieren im Chemieunterricht benötigte Funktionalitäten abzudecken *und* (ii) für einen deutlich geringeren Preis bezogen werden können als klassische Labormaterialien, die denselben oder einen ähnlichen Zweck erfüllen.

Sobald sich Aussagen und Ergebnisse im Rahmen dieser Arbeit nur auf einen konkreten Teil des alternativen Materialpools beziehen – nur auf die Medizintechnik oder nur auf Alltags- oder umfunktionierte Alltagsmaterialien – wird dies durch eine begriffliche Differenzierung entsprechend kenntlich gemacht. Außerdem sei darauf hingewiesen, dass diese Arbeit einen *Vergleich* alternativer und klassischer Experimentiermaterialien im experimentellen Schulunterricht anstrebt, sodass kostengünstige Alternativen zu klassischen Geräten, die ohne diese Alternative in der Regel gar keinen Einzug in den Schulunterricht finden würden, in dieser Arbeit *nicht* betrachtet werden. Beispiele dafür sind

sogenannte *Low-Cost-Gaschromatographen* (Kappenberg, 1998), -Photometer (Witte, Hanemann, Sommerfeld, Temmen & Fechner, 2019) oder -Polarimeter (Helfensteller & Flint, 2021).

2.2 Alternatives Experimentiermaterial im Chemieunterricht

Ausgehend von der im vorherigen Abschnitt formulierten Arbeitsdefinition werden in einem ersten Schritt Gründe für den Einsatz alternativer Experimentiermaterialien sowie deren Grenzen im experimentellen Chemieunterricht beschrieben, bevor bisherige Forschungsergebnisse zum Gegenstandsbereich zusammengefasst dargestellt werden.

2.2.1 Gründe und Grenzen

Gründe für den praktischen Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im Chemieunterricht sind offensichtlich. Bereits im vorherigen Abschnitt dargelegt wurden die ökonomischen, ökologischen sowie sicherheitsrelevanten Vorteile des Experimentierens im Halbmikromaßstab, die gleichermaßen für den industriellen wie für den schulischen Kontext gelten (bspw. verkürzte Reaktionszeiten, Abfallreduktion). Im Zuge der gesteigerten Arbeitssicherheit und mit Blick auf die Spritzentechnik im Speziellen sei darüber hinaus nochmals auf Viktor Obendrauf verwiesen, der durch die von ihm entwickelten Gasentwicklungseinheiten mittels Kunststoffspritzen eine bessere Dosierbarkeit entstehender Gasmengen verspricht und somit eine im Vergleich zu klassischen Gasentwicklern bessere Alternative zur Umsetzung von Schulexperimenten auch mit toxischen Gasen wie Brom sieht. Bei nicht toxischen Gasen beschreibt er außerdem den Vorteil, dass die Lehrkraft die leichte Kunststoffapparatur, die nicht auf Stativmaterial angewiesen ist, in der Hand halten kann und sich mobil durch den Klassenraum bewegen kann (Obendrauf, 2004).³ Da für die Aufbewahrung von in der Regel kleineren alternativen Experimentiermaterialien weniger Lagerplatz benötigt und die Gefahr des Glasbruchs durch den Einsatz von Kunststoff- statt Glasmaterialien vermieden wird, ermöglicht der Einsatz alternativer Experimentiermaterialien nach Aussagen der Entwickler außerdem eine zügigere Unterrichtsvor- und -nachbereitung, insbesondere im Rahmen von Schülerexperimenten (z.B. Schwarz & Lutz, 2004).

³ Für eine Abbildung einer dieser Gasentwickler sei auf Abschnitt 5.3 dieser Arbeit verwiesen.

Wie bereits erwähnt, ist auch der Vorteil verringerter Materialkosten für Schulen zentral, unabhängig vom konkret betrachteten Land. Schon in der eingangs zitierten Metastudie von Helgeson et al. (1977) zum Zustand der naturwissenschaftlich-materiellen Ausstattung amerikanischer Junior- und Elementary-Schools wurde das 'science equipment' studienübergreifend als „inadequate or completely lacking“ (S. 47) und zusammen mit fehlender Lager- und Experimentierfläche, nicht ausreichend vorhandener Unterrichtszeit und zu großen Klassen als „barrier to teaching science“ (S. 46) beschrieben. Dieser Zustand scheint länderübergreifend und zeitüberdauernd zu sein. Zwar ist dem PISA-Bericht (Senkbeil, Drechsel & Schöps, 2007) zu entnehmen, dass die materielle Ausstattung deutscher Schulen, abhängig von ihrem sozioökonomischen Profil und ihrer lokalen Lage, im Vergleich zu anderen OECD-Staaten 'eher überdurchschnittlich' und 'im guten Zustand erscheint', auf individueller Ebene der Lehrkräfte jedoch konnten Studien zeitüberdauernd eine andere Wahrnehmung feststellen. In Bezug auf Schülerexperimente stellt Nentwig (1978) im Rahmen einer Befragung von $N = 177$ Chemielehrkräften bereits in den 70'er Jahren fest, dass 21 % der befragten Lehrkräfte niemals Schülerexperimente durchführen, 77 % der Lehrkräfte geben einen 'gelegentlichen' bis 'seltenen' Einsatz an. Als hinderliche Rahmenbedingungen genannt werden ein Mangel an Fachräumen und entsprechenden Arbeitsplätzen bei zu hohen Schülerzahlen, ein zu geringer Chemie-Etat für Schulen, fehlende Unterrichtszeit durch ein hohes Lehrplanpensum, zu hohe Klassenfrequenzen sowie nicht ausreichend vorhandene Schülerarbeitsmaterialien. Als Konsequenz daraus werden folgende Bedingungsfaktoren für die Häufigkeit von Schülerexperimenten festgehalten: Schülerexperimente finden umso häufiger statt, je größer die Zahl der Arbeitsplätze, Menge des Arbeitsmaterials und höher die Fortbildungsaktivität der Lehrkräfte und je geringer das Alter der Lehrkräfte, die Klassenfrequenz und die Einschätzung des organisatorischen Aufwandes sind (ebd., S. 87). Das Fazit der Studie bezüglich der materiellen Situation an Schulen lautet: „Die materielle Ausstattung der Schulen ist in den meisten Fällen nicht geeignet, Lehrer zum Einsatz von Schülerexperimenten zu ermutigen“ (ebd., S. 88). Dieses Fazit scheint seit den 70'er Jahren seine Gültigkeit nicht verloren zu haben, denn auch in einem mehr als 15 Jahre später veröffentlichten Beitrag von Merzyn (1994) werden unter anderem die Faktoren *Zeit*, *Geld* und *Schülerzahlen* als Gründe für die geringe Häufigkeit von Schülerexperimenten im Chemieunterricht angeführt; wieder elf Jahre später heißt es in einer Studie von Barth (2005), dass ausreichend bis mangelhaft ausgestattete Chemiesammlungen die praktische Umsetzung experimentellen Chemieunterrichts maßgeblich einschränken. Auch Wagner und Bader (2006)

ziehen in ihrer Untersuchung das Fazit, dass von 74 Schulen lediglich 30 % „über ein Mindestmaß an Ausrüstung und Räumlichkeiten“ (S. 113) zur Umsetzung experimentellen Unterrichts verfügen. Noch bis 2011 werden in einer Ist-Standanalyse von Schaffer und Pfeifer (2011) neben den Aspekten *Lehrplanfülle* und *Lehrermangel* auch eine *Raumnot* sowie die *Klassenstärke* als von Lehrkräften genannte Gründe identifiziert, teilweise gar keine Schülerexperimente durchführen zu können. In der Folge könnten kostengünstigere, alternative Experimentiermaterialien für Schulen und Lehrkräfte eine Möglichkeit darstellen, um ausreichend Experimentiermaterial auch für hohe Schülerzahlen zur Verfügung stellen zu können.

Über solch organisatorische Aspekte hinaus lassen sich auch aus didaktischer Perspektive Gründe für den Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im naturwissenschaftlichen Unterricht festhalten. Auch wenn er sich nicht explizit auf alternative Experimentiermaterialien im Sinne der hier angelegten Arbeitsdefinition bezieht, bezeichnet beispielsweise Häusler (1991) das Experimentieren im Halbmikromaßstab als „logische Konsequenz des Bildungsauftrages im Fach Chemie“ (S. 17); schließlich folgt die Idee der Chemikalien- und Abfallreduktion dem Green-Chemistry-Ansatz zur nachhaltigen Gestaltung eines zeitgemäßen naturwissenschaftlichen Unterrichts und Sensibilisierung eines Umweltbewusstseins von SchülerInnen (Bader, 2003; Kelkar & Dhavale, 2000; Singh et al., 1999). Fachdidaktische Vorteile, die explizit im Zusammenhang mit alternativen Experimentiermaterialien entsprechend der Arbeitsdefinition gesehen werden, sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Darunter fällt unter anderem die für die Halbmikrotechnik bereits angemerkte geringere Hemmschwelle der SchülerInnen im Umgang mit alternativen Experimentiermaterialien, da diese, im Vergleich zu klassischem Labormaterial, oftmals aus bruchsicherem Kunststoff statt aus Glas bestehen. Obendrauf (2006) formuliert bezüglich des von ihm entwickelten Spritzen-Gasentwicklers, dessen Versuchsaufbau ohne Stativmaterial auskommt, außerdem folgenden Vorteil der Medizintechnik:

For many students, unclear experimental arrangements are not elegant or even beautiful. They want to pick up the experiment and the concepts behind it as fast as possible. A simple and clear experimental procedure without many fixing stands and clamps, that is focused on a microscale level and enlarged with modern electronic equipment for large auditoriums, can sometimes improve both the aesthetics and safety of potentially dangerous experiments. (S. 1)

Tabelle 3
Fachdidaktische Vorteile alternativer Experimentiermaterialien

| Quelle, Materialpool | Beschriebene Vorteile alternativer Experimentiermaterialien |
|--|--|
| Obendrauf (z.B. 2004, 2006), Medizintechnik | – Beschleunigte Durchschaubarkeit einer Versuchsapparatur durch Verzicht auf Stativmaterial (Kontext: Gasentwickler aus Kunststoffspritzen) |
| Borstel und Böhm (z.B. 2004), Medizintechnik | – Geringere Hemmschwelle des Ausprobierens durch die SchülerInnen |
| Schwarz und Lutz (2004), Medizintechnik und (umfunktionierte) Alltagsmaterialien | – Fehlende Schliffe erlauben ein kreativeres Zusammenbauen und fördern problemlösendes Denken. In Kombination mit dem Verzicht auf Stativmaterial fördern (umfunktionierte) Alltagsmaterialien eine intensivere Auseinandersetzung mit der Apparatur. – Möglichkeit zur Organisation von Hausaufgaben- beziehungsweise Heimexperimenten |
| Marohn, Schillmüller und Stucky (2021), (umfunktionierte) Alltagsmaterialien | – motorisch einfachere Handhabung der Materialien – Verbindung von Lebenswelt und Fachunterricht |

Grenzen beim Einsatz alternativer Experimentiermaterialien

Kritik am Einsatz alternativer Experimentiermaterialien wird im naturwissenschaftsdidaktischen Diskurs kaum geübt, dennoch aber ‘natürliche’ Grenzen festgesetzt. Diese liegen beim Einsatz von Kunststoffmaterialien im Rahmen von Experimenten mit hohen Temperaturen sowie organischen Lösemitteln und starken Säuren (Singh & Szafran, 2000; Vernaak & Bradley, 2003). Pfeifer (2006) empfiehlt das Experimentieren im Halbmikro- bis Mikromaßstab „mit unkonventionellen Gerätschaften [außerdem nur], soweit die Sicherheitsvorschriften dies zulassen“ (S. 5); entgegen den Vorschlägen zum Einsatz umfunktionierter Alltagsmaterialien appelliert er als technische Schutzmaßnahme für den Chemieunterricht daran, „[k]eine „Tablettenröhrchenchemie“, Fruchtsaftflaschen o.ä. als Reaktionsgefäße“ (ebd., S. 5) zu verwenden. In Bezug auf die reduzierten Chemikalienmengen wird zudem darauf hingewiesen, dass die „Grenzen der Miniaturisierung durch die „Anschaulichkeit“ gegeben sein“ müssen (Schallies, 1991, S. 5). Menzel (1998) spricht dabei von einem „Dilemma . . . , das zwischen Anschaulichkeit, starkem Eindruck und unmittelbarer, direkter Beobachtung auf der einen Seite und Sicherheit, Entsorgung und Kosten auf der anderen Seite besteht“ (S. 172).

Um von den bislang beschriebenen Erfahrungsberichten zu empirischen Forschungsergebnissen überzugehen, werden in einem nächsten Schritt bisherige Untersuchungsergebnisse zum Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im naturwissenschaftlichen Unterricht vorgestellt.

2.2.2 Stand der Forschung

Obwohl das Experimentiermaterial einen elementaren Bestandteil des experimentellen Chemieunterrichts darstellt, hat sich die chemiedidaktische Forschung bislang wenig mit diesem Aspekt einer Experimentierumgebung auseinandergesetzt; empirische Studien zum Einsatz alternativer Experimentiermaterialien existieren kaum. In einem Bericht zu Experimentiertrends des Chemieunterrichts an deutschen Schulen heißt es entsprechend:

Unfortunately, evidence confirming the range and intensity with which teachers are applying such newly developed ideas and materials remains rare and fragmentary. However, even school textbooks have begun to present alternative ways of carrying out experiments using low-cost and micro-scale techniques as a basis. This fact, of course, hopefully supports the underlying assumption that increasing numbers of teachers have both read about and started to use more low-cost alternatives to increase the amount of practical work in their classrooms today. (di Fuccia, Witteck, Markic & Eilks, 2012, S. 63)

Im Folgenden können daher lediglich Forschungsergebnisse zu Vergleichen von klassischem Labormaterial und Alltagsmaterialien aus der *physikdidaktischen* Forschung sowie zum Einsatz medizintechnischer Materialien an Schulen im außereuropäischen Ausland wiedergegeben werden.

Alltagsmaterialien im naturwissenschaftlichen Unterricht – Stand der Forschung

Empirische Studien zum Einsatz von (umfunktionierten, teilweise wiederverwendeten) Alltagsmaterialien im Chemieunterricht sind zum aktuellen Zeitpunkt nicht bekannt. Im Physikunterricht wiederum kommt dem Einsatz (umfunktionierter) Alltagsmaterialien das sogenannte *Freihandexperiment* am nächsten, bei dem statt „für einen bestimmten Zweck idealisierte und präparierte Geräte“ (Behrendt & Schlichting, 2000, S. 6) leicht zu beschaffende, kostengünstige Alltagsgegenstände „ohne aufwendige Versuchsvorbereitung zur Demonstration eines physikalischen Zusammenhanges herangezogen [werden]“ (Schlichting, 2000, S. 255). Beispiele für entsprechende Alltagsgegenstände sind Kreisel oder Luftballons; zur Demonstration des Hebelgesetzes können außerdem ein Besenstiel, ein Stuhl und ein Zeigestock herangezogen werden. Das Hebelgesetz im Freihandexperiment hat Behrendt (1990) konkreter betrachtet und bei einer Befragung von insgesamt $N = 39$ SchülerInnen festgestellt, dass die Bereitstellung von Alltagsmaterialien *und* klassischen Laborgeräten die Gerätewahl und die Motivation von SchülerInnen beeinflusst. Zwar vermuten die befragten SchülerInnen, dass alltagsnahes Material ihnen

den Einstieg in ein fachliches Thema erleichtern würde, trotzdem wird *unbekanntes* Material, heißt in der Regel Labormaterial, bevorzugt und als motivierender, da faszinierender und für ein späteres Berufsleben relevanter empfunden; Alltagsgeräte hingegen werden als ‘zu primitiv’ wahrgenommen. Als ein Resümee ihrer Arbeit zieht Behrendt, dass aus der Sicht von SchülerInnen im experimentellen Physikunterricht „Laborgeräte . . . Alltagsgeräten vorgezogen werden [sollen]“ (ebd., S. 220). Tesch (2005) und Widodo (2004) hingegen fanden keinen eindeutigen Zusammenhang, jedoch positive Tendenzen zwischen der Verwendung von Alltagsgeräten und -kontexten im Physikunterricht und einer gesteigerten Leistung sowie gesteigertem Interesse der SchülerInnen. Unabhängig von den konkreten Ergebnissen scheint ein Einfluss des Experimentiermaterials auf die Motivation und das Interesse von SchülerInnen im Physikunterricht angenommen zu werden.

Da sich die in der Physikdidaktik betrachteten Alltagsmaterialien grundlegend von der Idee alternativer Experimentiermaterialien für den Chemieunterricht unterscheiden und Freihandexperimente eher als spontan durchzuführende Unterrichtsexperimente statt als experimentelle Arbeitsphase unter Einsatz von Chemikalien, Hitze- oder Spannungsquellen zu verstehen sind, ist jedoch nicht davon auszugehen, dass die beschriebenen Ergebnisse ohne Weiteres auch für den Einsatz (umfunktionierter) Alltagsmaterialien im Chemieunterricht angenommen werden können. Die hier durchgeführte Untersuchung wird demnach auch zeigen, ob oder inwiefern sich fächerübergreifende Parallelen erkennen lassen.

Medizintechnik im naturwissenschaftlichen Unterricht – Stand der Forschung

Kostengünstige Materialien der Medizintechnik bieten vor allem Ländern mit entsprechend schlechter materieller Grundausstattung von Schulen die Möglichkeit zu Demonstrations-, aber vor allem Schülerexperimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht. Zur Integration sogenannter *Microscale*-Programme in die schulische und akademische Ausbildung von SchülerInnen und Studierenden dieser Länder, haben die UNESCO und IUPAC Förderprogramme wie das RADMASTE-Experimentierkit der Universität Witwatersrand (Johannesburg, Südafrika) ausgerufen, das *primär* medizintechnisches Experimentiermaterial enthält und seitdem als „the answer to cost-effective practical work in chemistry“ (Kimel, Bradley, Durbach, Bell & Mungarulire, 1998, S. 1408) gehandelt wird. Unter anderem in Tansania, Äthiopien und Ghana wird der praktische Einsatz dieses

Experimentier-Kits an Schulen auch wissenschaftlich begleitet; entsprechende Forschung zum Einsatz medizintechnischer Materialien im Lehr- und Lernkontext findet sich vor allem unter dem Begriff der *Microscale-Chemistry* (Mafumiko, 2008; Tesfamariam, Lykknes & Kvittingen, 2017). In ihren Ergebnissen bestätigen beide zitierten Studien die in Abschnitt 2.2.1 bereits beschriebenen organisatorischen Vorteile alternativer, hier medizintechnischer Experimentiermaterialien (Abfallreduktion, verkürzte Reaktionszeiten, Mobilität aufgrund des Kistenprinzips, einfache Handhabung der Materialien). Lehrkräfte beschreiben als Schwierigkeiten des Materials den leichten Verlust einzelner Kit-Bestandteile, die aufwendige Reinigung verdreckter Kunststoffmaterialien, teilweise ungenaue, quantitative Messergebnisse sowie die Lesbarkeit der Skala auf kleinen Kunststoffspritzen. Der *Fokus* jener Studien liegt jedoch weniger auf der Evaluation des Materials als solches, als auf dem Zuwachs an Fachwissen sowie motivationalen Veränderungen seitens der SchülerInnen in Abhängigkeit vom Einsatz medizintechnischer Materialien in Kleingruppen im Vergleich zum ‘traditional approach’, der entweder gar keine Schülerexperimente beinhaltet oder durchgeführte Schülerexperimente in großen Gruppen von sechs bis acht SchülerInnen umfasst. Dabei stellt die Studie von Tesfamariam et al. (2017) einen signifikanten Einfluss des Einsatzes medizintechnischer Materialien auf das Verständnis chemischer Konzepte fest, jedoch keinen Unterschied in den Untersuchungsgruppen bezüglich des Interesses und der Freude an der praktischen Laborarbeit. Die Ergebnisse beider zitierten Studien stimmen überein, dass SchülerInnen ein hohes Interesse am Unterricht zeigen, sobald in irgendeiner Form experimentiert wird, sodass ihre Ergebnisse – nach eigenen Angaben – auf Neuigkeitseffekte und die generelle Möglichkeit zurückzuführen sind, überhaupt in Kleingruppen experimentieren zu können.

Insbesondere aufgrund dieses Neuigkeitseffektes und den nicht vergleichbaren Rahmenbedingungen sind die Ergebnisse dieser Studien nicht uneingeschränkt auch für den hiesigen Chemieunterricht anzunehmen, aus dem SchülerInnen das eigenständige Experimentieren in Kleingruppen auch mit klassischen Labormaterialien kennen und der Einsatz medizintechnischer Materialien einen potentiellen *Ersatz* darstellen würde. Schließlich sind aufgrund dieser unterschiedlichen Erfahrungen andere Erwartungen der SchülerInnen an den naturwissenschaftlichen Unterricht und insbesondere an das Experimentieren im Chemieunterricht anzunehmen. Weiterhin ist bekannt, dass unterschiedliche Erwartungen an einen Gegenstand wiederum einen Einfluss haben auf die Wahrnehmung von Qualitätsmerkmalen bezüglich dieses Gegenstandsbereichs, da Erwartungen als Referenz

zur Einschätzung neuer Eindrücke und Erfahrungen herangezogen werden (Oliver, 1977). Dieser Einfluss unterschiedlicher Erwartungen der SchülerInnen kann auch mit Blick auf ihre Wahrnehmung der Experimentiersituation und der eingesetzten Experimentiermaterialien vermutet werden, beispielsweise in Bezug auf das Interesse der SchülerInnen am Material.

Fachdidaktische Studien, in denen Experimente mit medizintechnischem Material und klassischem Labormaterial *vergleichend* durchgeführt worden sind, sind aus (i) Malaysia (Abdullah, Mohamed & Ismail, 2009), (ii) Südafrika (Bradley, 2006) und (iii) den USA (McGuire, Ealy & Pickering, 1991) bekannt; alle drei Studien betrachten dabei Schülerexperimente oder das eigenständige Experimentieren von Studierenden: (i) Die zuerst zitierte Studie vergleicht das Interesse und die Motivation von SchülerInnen an der medizintechnischen Variante eines Experiments in Einzelarbeit mit der klassischen Materialvariante eines Experiments in Gruppenarbeit. Auch wenn die Studie keine Interessens- und Motivationsunterschiede in beiden Gruppen feststellen konnte, kann dieses Ergebnis ohne Berücksichtigung der Sozialform nicht allein auf den Materialfaktor zurückgeführt werden. (ii) Studierende aus Südafrika wiederum haben in jeweils gleichen Gruppengrößen insgesamt vier Experimente durchgeführt, davon zwei in medizintechnischer, zwei weitere in klassischer Variante und in Form von Einstellungs-Fragebögen angegeben, dass die mit klassischem Labormaterial realisierten Experimente besser zu beobachten sind und auch die Einzelmaterialien im Vergleich leichter zu handhaben sind als das medizintechnische Material (Bradley, 2006). (iii) Einen direkten Vergleich *ein und desselben* Experiments in sowohl klassischer- als auch in medizintechnischer Variante haben $N = 100$ SchülerInnen einer amerikanischen Highschool durchgeführt (McGuire et al., 1991). Durch eine anschließende Bewertung hinsichtlich der Kriterien ‘easy’, ‘fun’, ‘took too long’, ‘interesting’ und ‘increased understanding’ wurden Materialpräferenzen der SchülerInnen ermittelt. Über verschiedene Experimente hinweg wird die klassische Variante signifikant häufiger bevorzugt, dabei vor allem von männlichen Schülern sowie von SchülerInnen mit überdurchschnittlichen mathematischen Fähigkeiten. Als Resümee ihrer Studie machten McGuire et al. (1991) bereits vor zwei Jahrzehnten auf folgende Problemstellung aufmerksam:

Many of the reasons advanced for adopting microscale are economic – not pedagogical. It is troubling that the money saved may come at the price of making chemistry less attractive. (S. 871)

Um dieser formulierten Sorge strukturiert und theoretisch fundiert nachzugehen, wird das Experimentiermaterial in einem ersten Schritt als Einflussfaktor auf die Qualität von Schule, Unterricht und Fachunterricht im Speziellen herausgearbeitet.

2.3 Das Lehr-/ Lernmaterial als Merkmal von Unterrichtsqualität

“The linking of quality with cost effectiveness has given new urgency to the analysis of quality in . . . education. So for a variety of reasons, quality matters”
(Harvey & Green, 1993, S. 10).

Das Lehr-/ Lernmaterial – auf Schulebene

Die Unterrichtsqualitätsforschung als eigener Forschungsbereich zur Verbesserung der Qualität des Bildungssystems arbeitet stets an der Frage, was *guten* Unterricht ausmacht. Ihre Kernaufgabe, auch im Rahmen der jeweiligen Fachdidaktik, ist die Identifikation von Merkmalen, die die Lernleistung von SchülerInnen sowie deren affektive Einstellung gegenüber dem Fach oder bestimmten Gegenständen und Tätigkeiten des jeweiligen Fachs nachweislich beeinflussen (Neuhaus, 2007). Eine dabei grundlegende Annahme ist die eines Prozess-Produkt-Paradigmas, innerhalb dessen sich stets eine Fülle an Merkmalen, „als „Bedingungsseite“ (oder Prozessqualität) auf Unterrichts- und Erziehungsziele („Kriterienseite“ oder Produktqualität) positiv auswirken, wobei die Kriterienseite überwiegend von normativen Festlegungen bestimmt ist und der Zusammenhang von Unterrichtsmerkmalen und Zielerreichung von empirischen Aussagen geleitet ist“ (Einsiedler, 2002, S. 195). Die Forschungslandschaft ist dabei sehr breit, die Anzahl entsprechender Studien und mit ihnen identifizierter Merkmale zur Beeinflussung der Lernleistung (affektiv, pädagogisch und v.a. kognitiv) sehr hoch. In Form von Rahmenmodellen wird daher versucht, diese Merkmale systematisch darzustellen. Beispiele für *fachunabhängig* geltende Modelle zur Qualität und Qualitätsentwicklung im Bildungsbereich finden sich unter anderem bei Fend (2001), Prenzel und Doll (2002) oder Ditton (2007). Eine ausführliche Darstellung der Modelle ist für den Zweck dieser Untersuchung nicht zielführend, es soll jedoch darauf aufmerksam gemacht werden, dass all diese Modelle auf der Ebene des Schulsystems die personellen, finanziellen und materiellen Bedingungen, beziehungsweise bei Fend (2001) die Versorgungsdichte (Angebotsqualität und Ausstattung), als grundlegende Einflussfaktoren auf die Leistungsentwicklung von SchülerInnen und somit Qualität von Unterricht integrieren.

Das Lehr-/ Lernmaterial – auf Unterrichtsebene

Begibt man sich von der Ebene des Schulsystems auf die Prozessebene, stellt man im Rahmen von Unterrichtsqualitätsmodellen stets das Lehr- und Lern-Material als Einflussfaktor auf das schulische Lernen fest. Ein Beispiel ist das in einer umfassenden Metaanalyse untersuchte Modell zu Merkmalen der ‘educational productivity’ von Fraser, Walberg, Welch und Hattie (1987), das eine Dreiteilung jener Merkmale in (i) *Students’ Aptitude* (individuelle Eingangsvoraussetzungen der SchülerInnen), (ii) *Instruction* (Quantität und Qualität der, auch materiellen, Unterrichtsgestaltung) und (iii) *Environment* (Einfluss des Umfeldes der SchülerInnen) vornimmt. Das im deutschsprachigen Raum am weitesten verbreitete Modell zur Unterrichtsqualität stammt von Helmke (2009), der diese Dreiteilung übernimmt und durch den Faktor ‘Lehrperson’ ergänzt. Das daraus resultierende Angebots-Nutzungsmodell (s. Abbildung 2) erfasst allgemeingültige Aspekte zur Wirkungsweise von Unterricht und beschreibt diesen als „ein *Angebot*, das je nach individuellen Lernaktivitäten mehr oder weniger *genutzt* werden kann“ (Helmke, 2002, S. 262). Wie dem Modell zu entnehmen ist, hängt das Unterrichtsangebot als solches, darunter die *Qualität des Lehr- und Lernmaterials*, in Form von Mediationsprozessen mit der Wahrnehmung von Unterricht, der Lernaktivitäten der SchülerInnen und letztlich mit dem Ertrag von Unterricht zusammen. Die Studienlage dazu, wie dieses Unterrichtsangebot (auch: die Lernumgebung) didaktisch wertvoll gestaltet werden kann, ist mindestens genauso breit wie Untersuchungen zu allgemein geltenden Einflussfaktoren auf die Lernleistung von SchülerInnen. Als fächerübergreifend geltende Merkmale identifiziert wurden unter anderem die kognitive Aktivierung von SchülerInnen oder die Verständlichkeit von Unterrichtsinhalten (Clausen, Reusser & Klieme, 2003; Fraser et al., 1987; Helmke, 2003; Klieme, Schümer & Knoll, 2001; Prenzel, 1995; Seidel & Prenzel, 2006). Da diese Merkmale in Abschnitt 2.4.2 explizit auf Anforderungen an die Gestaltung von Experimentierumgebungen und ihre Beeinflussung durch das Experimentiermaterial als eine Facette des Lehr-/ Lernmaterials bezogen werden, werden sie an dieser Stelle noch nicht zusätzlich spezifiziert. An dieser Stelle dient das Modell von Helmke (2009) zunächst als theoretische Untermauerung für die Relevanz des Lehr- und Lernmaterials in Bezug auf die Qualität von Unterricht.

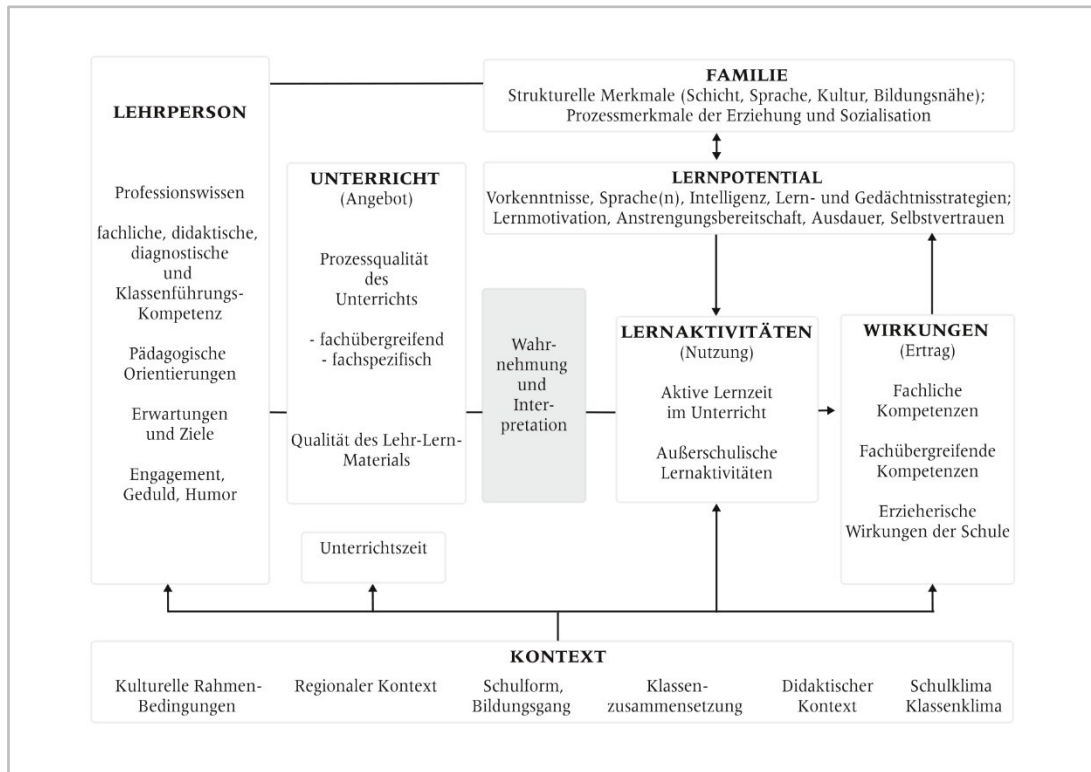


Abbildung 2. Einflussfaktoren auf die Qualität von Unterricht: Das Angebots-Nutzungsmodell von Unterricht nach Helmke (2009).

Das Lehr-/ Lernmaterial – auf Ebene des Fachunterrichts

Von Zusammenhängen der Unterrichtsqualität zum Lehr-/ Lernmaterial wird auch aus *fachspezifischer* Perspektive ausgegangen, sodass entsprechende Modelle und Qualitätsmerkmale von Unterricht auch auf Ebene der einzelnen Fachdidaktiken beschrieben worden sind. In einem Modell von Fischer, Borowski, Kauertz und Neumann (2010) zur Unterrichtsqualität im Fach Physik werden auf Seiten der Lehrkräfte die ‘Arbeitsbedingungen’ als Qualitätsmerkmal gelistet, die ebenso einen Einfluss auf den Einsatz von Experimenten im Unterricht haben wie individuelle Schülermerkmale. Auch in der bereits zitierten Studie von Fraser et al. (1987) wurden die Aspekte ‘facilities and equipment’ (Klassenraum, Laborräume und Materialien) sowie das zur Verfügung stehende Lehrbudget pro SchülerIn in den Naturwissenschaften und ihr Einfluss auf die Lernleistung und affektive Einstellungen von SchülerInnen noch einmal separat für die naturwissenschaftlichen Fächer untersucht. Über das genannte Budget wurde die Qualität des Lehr-/ Lernmaterials operationalisiert und ein signifikanter Zusammenhang des Budgets zur Lernleistung, nicht aber zu affektiven Einstellungen der SchülerInnen festgestellt. Ob nun

als *Lehr-/ Lernmaterial*, als *Arbeitsbedingungen* oder als *facilities and equipment* bezeichnet, sind die konkret zum Einsatz kommenden Experimentiermaterialien bei der Betrachtung der Qualität und Wirkungsweise naturwissenschaftlichen Unterrichts von zentraler Bedeutung.

Diese Relevanz wird umso deutlicher, wenn man Harvey & Greens (1993) allgemeine Definition von *Qualität* als *Zweckmäßigkeit* von Gegenständen auf den Lehr-/ Lernkontext anwendet: "...quality only has meaning in relation to the purpose of the product or service. . . . Quality is thus judged in terms of the extent to which the product or service fits its purpose" (S. 16). Da Experimentiermaterialien dann ihren Zweck erfüllen, wenn sie ein gelungenes Experiment ermöglichen, widmet sich der folgende Abschnitt Zielen von Experimenten im Chemieunterricht.

2.4 Der experimentelle Chemieunterricht – Theorie und Praxis

Um ein Schulexperiment als *zweckmäßig* bezeichnen zu können, ist es sowohl aus theoretischer als auch praktischer Perspektive zu betrachten. Abschnitt 2.4.1 widmet sich zunächst der theoretischen Sicht, indem in der Fachliteratur festgehaltene Ziele eines gelungenen Experiments im Chemieunterricht zusammengefasst werden. Anschließend werden Forschungsergebnisse zur tatsächlichen Wirksamkeit von Experimenten in der Unterrichtspraxis dargestellt.

2.4.1 Ziele und Wirksamkeit

Ziele des experimentellen Chemieunterrichts

Alleinstellungsmerkmal naturwissenschaftlichen Schulunterrichts ist die Möglichkeit des (eigenständigen) Experimentierens und somit das aktive Erleben naturwissenschaftlicher Phänomene. Das Experiment gilt dabei traditionell als zentrale Methode der Erkenntnisgewinnung und Vermittlung naturwissenschaftlicher Grundbildung, sodass es sowohl im Unterricht selbst als auch in der fachdidaktischen Forschung und den Lehrplänen der Länder eine zentrale Rolle zugeschrieben bekommt (Bader & Schmidkunz, 2002; Bradley, 1999; Lunetta, Hofstein & Clough, 2007; Wilke, 1993; Wodzinski, 2010). Im Rahmen dieser Arbeit wird sich dabei stets auf unterrichtliche Experimente bezogen, die nach Millar, Le Maréchal und Tiberghien (1999) definiert sind als „all those teaching and learning

activities in science which involve students at some point in handling or observing the objects or materials they are studying“ (S. 36). Ziele, die mit dem Einsatz solcher praktischer Experimente verbunden werden, sind in der fachdidaktischen Forschung vielfach formuliert und in Tabelle 4 zusammengefasst, wobei diese aufgrund der Fülle vorhandener Forschungsarbeiten keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Bei der Zusammenfassung übernommen wurde die in vorangegangenen Studien bereits angelegte Einteilung in fachliche, psychologische und pädagogische Ziele eines Schulexperiments, bei der man sich an Bildungszielen im Rahmen nationaler Bildungsstandards orientiert hat (Klieme et al., 2007; Muckenfuß, 1995; Schulz, 2010).⁴ Fachliche Ziele des Schulexperiments umfassen vor allem das Beherrschen (i) wissenschaftlicher Untersuchungs- beziehungsweise Erkenntnismethoden (*scientific inquiry*), (ii) fachspezifischer Arbeits- und Auswertungstechniken (*practical work*) sowie (iii) fachbezogener Denkweisen (*nature of science*). Diese fachlichen Ziele wiederum dienen als Grundlage zur Modellierung messbarer Kompetenzkonstrukte im Rahmen nationaler Bildungsstandards für das Fach Chemie, benannt als (i) wissenschaftliches Denken, (ii) manuelle Fertigkeiten und (iii) das Wissenschaftsverständnis von SchülerInnen (KMK, 2004; Mayer, 2007).

Weitere Ziele des Schulexperiments werden insbesondere mit Blick auf unterschiedliche Phasen des Experimentierprozesses festgehalten, wobei dieser studienübergreifend teils stärker, teils weniger stark differenziert wird in die drei Phasen *Planung*, *Durchführung* und *Auswertung* (Emden, 2012). Für diese Phasen wiederum lassen sich sowohl phasenübergreifende als auch phasenspezifische Ziele beschreiben. Das Experiment in seiner Gesamtheit kann beispielsweise der Veranschaulichung abstrakter Theorie oder als Beweis naturwissenschaftlicher Fakten dienen, wohingegen in der konkreten Versuchsplanung vor allem psychologische Ziele wie das problemlösende Denken, in der anschließenden Durchführung primär manuelle Fertigkeiten und Beobachtungsfähigkeiten und in der Auswertung oftmals die Abstraktionsfähigkeit der SchülerInnen hin zu generalisierbaren Aussagen im Vordergrund stehen (Schulz, 2010). In Bezug auf das Material hat das naturwissenschaftliche Experiment auch das Ziel, SchülerInnen mit fachwissenschaftlichem Gerät vertraut zu machen. Tesch und Duit (2004) sprechen dabei von einer Sachbegegnung, für die sie im Rahmen des Physikunterrichts feststellen konnten, dass

⁴ Schulz (2010) spricht an dieser Stelle von *Dimensionen* (S. 31 f), Klieme et al. (2007) von *Bildungszielen* und *foundations* (S. 159). Für diese Arbeit wird der Begriff *Ziele* verwendet, unter dem inhaltlich die Ergebnisse unterschiedlicher Forschungsarbeiten zusammengefasst werden.

„[e]twa ein Viertel der Experimentierzeit . . . auf Alltagsgeräte, der Rest auf physikalische Geräte und vorgefertigtes Schülerexperimentiermaterial [entfällt]“ (S. 62).

Neben den bislang genannten, eher fachspezifischen Zielen ist der positive Einfluss motivationaler Aspekte auf affektive Einstellungen der SchülerInnen und deren Lernzuwachs sowohl für das Fach Chemie als auch das Experimentieren im Chemieunterricht bereits vielfach festgestellt worden. So konnten unter anderem Schiefele, Krapp und Winteler (1992) aus einer Metaanalyse von 121 Studien eine höhere positive Korrelation zwischen dem Interesse und der Lernleistung in den Naturwissenschaften als in geisteswissenschaftlichen Fächern feststellen; neuere Studien wie die von Jansen, Lüdtko und Schroeders (2016) bekräftigen diese Aussage insbesondere für das Fach Chemie. Studien zum positiven Einfluss von Experimenten im Chemieunterricht auf die Motivation von SchülerInnen finden sich beispielsweise bei Freedman (1997), Hofstein (2004) oder Cheung (2009). Als ein weiteres Ziel von Experimenten muss demnach die Förderung des naturwissenschaftlichen Interesses von SchülerInnen und deren Motivation zur Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen und Inhalten festgehalten werden. Da die Durchführung von *Schülerexperimenten* in der Regel in Gruppen stattfindet, entstehen ebenso Möglichkeiten zur Weiterentwicklung überfachlicher, sozialer Kompetenzen, darunter das Kooperationsverhalten von SchülerInnen (Eilks & Markic, 2007; Sommer & Pfeifer, 2018).

Unter Rückgriff auf weitere Studien fasst Tabelle 4 die bislang aufgeführten Ziele des experimentellen Chemieunterrichts zusammen. Die meisten dieser Ziele gelten sowohl für das Schüler- als auch für das Demonstrationsexperiment; nur vereinzelt sind Ziele *eher* dem Schülerexperiment zuzuordnen (bspw. die Vermittlung manueller Fähigkeiten).

Tabelle 4
Ziele des experimentellen Chemieunterrichts

| Fachlich | Psychologisch | Pädagogisch |
|---|---|---|
| Sachbegegnung unter sachgerechtem Umgang mit Geräten und Chemikalien | Entwicklung von Problemlösefähigkeiten und Selbstständigkeit | Weiterentwicklung des Sozialverhaltens: Kommunikation, Kooperation, Hilfsbereitschaft |
| Verbindung von Theorie und Praxis; Bestätigung von Fakten | Schulung der Abstraktionsfähigkeit und des Modelldenkens | Schulung des Umweltbewusstseins |
| Historische Entwicklungsstufen aufzeigen | Lernen durch praktische Erfahrung | Entwicklung eines Urteilsvermögens |
| Naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden und Arbeitstechniken als Charakteristika des Fachs kennenlernen | Schülervorstellungen prüfen; Phänomene überzeugend näherbringen | Entwicklung von Verantwortlichkeit, Sorgfalt und Genauigkeit |
| Erzeugung eines Wissenschaftsverständnisses: Natur und Grenzen der Naturwissenschaften verstehen lernen | Entwicklung von Interesse an und Motivation für Naturwissenschaften | |
| Förderung konzeptuellen Wissens und des Fachwissens | Förderung der Selbstwirksamkeitserwartungen | |
| (groß-) industrielle/ technische Verfahren im kleinen Maßstab nachvollziehen | | |
| Vermittlung experimenteller Fähigkeiten: manuelle Fähigkeiten, Beobachtungsfähigkeiten, Protokollführung | | |

Anmerkung. Zusätzlich zu den in Abschnitt 2.4.1 genannten Studien werden Ziele von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht u.a. formuliert von Euler, 2001; Girwidz, 2010; Hegarty-Hazel, 1990; Hodson, 1993; Hünig, 1984; Kerr, 1963; Kircher, 2010; Kirschner, 1992; Peper, Schmidt, Wilm, Oetken & Parchmann, 2007; Reinhold, 1994; Schaffer & Pfeifer, 2011; Solomon & Thomas, 1999; Welzel et al., 1998; Woolnough, 1998.

Wirksamkeit des experimentellen Chemieunterrichts

Studien zur Wirksamkeit des experimentellen Chemieunterrichts fokussieren insbesondere das Schülerexperiment und zeigen in Bezug auf die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Ziele variierende Ergebnisse. Es herrscht kein Konsens zur Effektivität und Wirkung von Schülerexperimenten gegenüber anderen Lernformen vor allem in Bezug auf den Fachwissenszuwachs von SchülerInnen, ihre Fähigkeiten zur sinnvollen Anlage und Kontrolle von Experimenten, aber auch hinsichtlich eines nachhaltig gesteigerten Interesses an und einer Motivation für Naturwissenschaften (z.B. Abrahams, 2009; Arzi, 2003; Hofstein & Lunetta, 1982; Nümann, 1985; Schwichow, Zimmerman, Croker & Härtig, 2016). Gründe für diese oftmals ausbleibenden fachwissenschaftlichen wie motivationalen Effekte von Schülerexperimenten werden unter anderem darin gesehen, dass Experimente trivial und inflationär, ohne deutliche inhaltliche Relevanz,

nachvollziehbare Einbettung und fachwissenschaftliche Verknüpfung in den Unterrichtsverlauf oder ohne hinreichende Offenheit der Experimentiersituation durchgeführt werden (Hodson, 1993; Tesch, 2005). Für den Rahmen dieser Arbeit sind insbesondere diejenigen Gründe von Interesse, zu denen ein Zusammenhang zum Experimentiermaterial hergestellt werden kann. Beispielsweise werden – anknüpfend an die zuletzt beschriebene, fehlende Offenheit – auch die naturwissenschaftlichen Lehr-/ Lernmaterialien der gängigen Lehrmittelindustrie kritisiert. Muckenfuß (1995) beispielsweise spricht von einer *Entindividualisierung* durch Lehrmittel, die bereits durch die Art und Weise ihrer Konstruktion keine Kreativität mehr zuließen. Darüber hinaus tragen nach Groß (2013) und Kechel (2016) *überfachliche* oder *innenbedingte Schwierigkeiten* wie sprachliche Fähigkeiten der SchülerInnen, fehlende Motivation aber auch der psychomotorische Bereich der Durchführung von Experimenten ebenso zu den ausbleibenden Effekten bei wie *sachbedingte Schwierigkeiten* (u.a. Fachbegriffe, Komplexität des Lerngegenstandes) oder *lehrbedingte Schwierigkeiten*, darunter auch die für die Bearbeitung einer Experimentieraufgabe benötigten Materialien oder ein hoher zeitlicher Aufwand für das Experimentieren. Bezogen auf den Physikunterricht wird der Liste von Schwierigkeiten in Zusammenhang mit dem Experimentiermaterial außerdem eine fehlende Beherrschung von Messmethoden sowie Schwierigkeiten bei der Handhabung von Geräten hinzugefügt (Hopf, 2007).

In Anbetracht dieser vielfachen Schwierigkeiten und fraglichen Wirksamkeit ist es in Kombination mit den in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen, problematischen Rahmenbedingungen zur Umsetzbarkeit von insbesondere Schülerexperimenten nicht verwunderlich, dass oftmals auf den Einsatz von Experimenten im Chemieunterricht verzichtet wird. In der fachdidaktischen Literatur wird daher eine Vielzahl von Anforderungen an ein gelungenes Experiment beschrieben, um diese in der Unterrichtspraxis umsetzbar zu machen und gleichzeitig die theoretisch wünschenswerten Ziele eines Schulexperiments auch tatsächlich zu erreichen. Diese fachdidaktischen Anforderungen an ein gelungenes Schulexperiment werden im Folgeabschnitt zusammengefasst.

2.4.2 Fachdidaktische Anforderungen an ein Schulexperiment

Eine Aufgabe der Chemiedidaktik ist die Identifikation von Anforderungen an ein gelungenes Schulexperiment. Unter Rückgriff auf die in Abschnitt 2.3 bereits herangezogene Qualitätsdefinition meint ‘gelungen’ dabei ein zweckmäßiges *Produkt* (hier: das Schulexperiment), das den Anforderungen seiner *NutzerInnen* (hier: SchülerInnen) und seiner *Anbieter* (hier: Lehrkräfte) entspricht, um die mit ihm verbundenen Ziele (s. Abschnitt 2.4.1) zu erreichen (Harvey & Green, 1993). Entsprechende Anforderungen wurden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung bereits vielfach beschrieben; eine Übersicht ist in Tabelle 5 zusammengestellt. Die dabei vorgenommene Dreiteilung soll keine Unabhängigkeit der Anforderungen suggerieren; das Gegenteil ist der Fall: Eine Vielzahl der Anforderungen steht in einem engen inhaltlichen Zusammenhang. So hängt beispielsweise das Kompetenzerleben in einer Experimentiersituation von der Gelungenheit eines Experiments ab. Entsprechende Zusammenhänge sind in der Tabelle grafisch kenntlich gemacht und werden in Abschnitt 2.4.2.2 theoretisch untermauert. Auch an dieser Stelle sei angemerkt, dass viele dieser Anforderungen gleichermaßen für das Schüler- wie für das Demonstrationsexperiment gelten, nur vereinzelte Anforderungen adressieren lediglich das Schülerexperiment (z.B. das Arbeiten in Kleingruppen).

Tabelle 5
 Fachdidaktische Anforderungen an Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht

| experimentell | affektiv* | organisatorisch |
|--|--|--|
| fachliche Korrektheit (Elementarisierung, Fachsprache) | Motivation und Interesse wecken | geeignete Rahmenbedingungen: materielle und räumliche Grundausrüstung, personelle und finanzielle Möglichkeiten |
| Passung von Idee und experimenteller Umsetzung | Relevanz des Lerninhalts | angemessener Zeitaufwand: effiziente Nutzung der Unterrichtszeit; realistische Vor- und Nachbereitungsdauer |
| hohe Gelingenswahrscheinlichkeit: deutlicher Effekt, hinreichende Er- gebnisqualität, Instruktionsqualität | Kompetenzerleben | Einhaltung der Arbeitssicherheit |
| Offenheit der praktischen Erfahrung (Planung, Durchführung, Auswertung) | Autonomieerleben | Strukturierungshilfen, Feedback durch die Lehrkraft, positive Fehlerkultur |
| Durchschaubarkeit der Apparatur und einzelner Bestandteile sowie deren Handhabung/ Bedienung | soziale Eingebundenheit | Experimentieren in Kleingruppen, kooperatives Lernen |
| Altersangemessenheit (kognitive, manuelle, sprachliche Fähigkeiten und Kapazitäten) | angemessener Grad der Herausforderung | nachvollziehbare Einbettung des Experiments in den Unterrichtsgang |

Anmerkung. *Als affektive Anforderungen werden im Rahmen dieser Arbeit diejenigen Anforderungen bezeichnet, die die affektive Einstellung von SchülerInnen beeinflussen. Jeweils zusammengefasst sind affektive Anforderungen und ihr inhaltlicher Zusammenhang zu experimentellen bzw. organisatorischen Anforderungen. Alle affektiven Anforderungen gemeinsam ermöglichen die Genese von Motivation und Interesse. Aufgrund der Fülle vorhandener Forschungsarbeiten kann an dieser Stelle nur eine Zusammenfassung wiedergegeben werden. Entsprechende Ergebnisse finden sich u.a. bei Barth, 2005; Euler, 2001; Harlen, 1999; Hofstein & Kempa, 1985; Kotter, 1975; Prenzel & Parchmann, 2003; Rumann, 2004; Seidel et al., 2006; Wahser, 2007 und Walpuski, 2006; auf weitere Studien wird in Abschnitt 2.4.2.2 hingewiesen.

Für das Ziel *dieser* Arbeit ist nun zentral, zunächst diejenigen Anforderungen aus den in Tabelle 5 gegebenen zu identifizieren, zu denen ein Zusammenhang zur Ebene des konkreten Experimentiermaterials vermutet werden kann. In einem ersten methodischen Schritt wurde dazu ein Expertenrating durchgeführt, das im Folgeabschnitt kurz beschrieben wird.

2.4.2.1 Materialabhängige Anforderungen an ein Schalexperiment

Um Zusammenhänge zwischen den Anforderungen an ein gelungenes Experiment und dem Experimentiermaterial identifizieren und ebenso materialunabhängige Anforderungen selektieren zu können, wurde ein Expertenrating vorgenommen, bei dem drei Personen mit wissenschaftlichen Positionen am Institut für Didaktik der Chemie der Goethe-

Universität Frankfurt/ Main die in Tabelle 5 beschriebenen Anforderungen in materialabhängige und materialunabhängige Anforderungen einteilten. Alle drei ExpertInnen waren zum Zeitpunkt des Ratings auch im Schuldienst und als Chemielehrkräfte tätig. Eine nähere inhaltliche Beschreibung der Anforderungen oder ihre in Tabelle 5 angedeuteten inhaltlichen Zusammenhänge lag den ExpertInnen für dieses Rating nicht vor. Das Ergebnis des Ratings ist in Tabelle 6 dargestellt, wobei organisatorische, experimentelle und affektive Anforderungen als *fachdidaktische Anforderungen* zusammengefasst werden. Gleichzeitig haben die Rater eine Aufgliederung der relevanten Anforderungen in Bezug auf die jeweilige Phase der Umsetzung eines Schulexperiments vorgenommen. Eine ähnliche Zusammenstellung findet sich bei Schulz (2010, S. 41), wobei die dort vorgenommene Auflistung einem anderen Untersuchungsziel folgt und nicht nach Materialzusammenhängen selektiert. Um das Ergebnis aus Tabelle 6 zu erzielen, wurden deckungsgleiche Zuordnungen der ExpertInnen übernommen und definatorische Unterschiede untereinander ausdiskutiert, bis durch diese sogenannte Expertenvalidierung (Flick, 2014) eine einheitliche Aufteilung erzielt werden konnte. Teilweise wurden die Anforderungen dazu stärker differenziert, beispielsweise sind die Rahmenbedingungen bezüglich materieller und finanzieller Möglichkeiten als materialabhängig eingestuft worden; die personellen Möglichkeiten indes nicht. Auf eine ausführliche Darstellung der Diskussionen im Rahmen dieser Validierung wird an dieser Stelle verzichtet, da viele Anforderungen selbsterklärend materialabhängig sind (bspw. die Verfügbarkeit von Materialien oder die Arbeitssicherheit) und somit in der Regel wenig Aushandlungsprozesse geführt werden mussten.

Tabelle 6

Ergebnis des Expertenratings: fachdidaktische Anforderungen an ein Schulexperiment, zu denen ein Zusammenhang zum Experimentiermaterial angenommen wird

| Phase | fachdidaktische Anforderungen |
|---|---|
| Unterrichtsvorbereitung | <ul style="list-style-type: none"> – geeignete Rahmenbedingungen: Materialverfügbarkeit und finanzielle Anschaffungsmöglichkeiten (ORG) – Materialverfügbarkeit beeinflusst Gruppengröße beim Experimentieren (ORG) |
| Versuchsaufbau und praktische Durchführung | <ul style="list-style-type: none"> – angemessener Grad der Herausforderung (AFF): kognitive, manuelle, sprachliche Fähigkeiten und Kapazitäten (EXP) – Autonomieerleben (AFF) durch Offenheit der praktischen Erfahrung in Planung, Aufbau und Durchführung (EXP) |
| Versuchsbeobachtung | <ul style="list-style-type: none"> – hohe Gelingenswahrscheinlichkeit: deutlicher Effekt, hinreichende Ergebnisqualität (EXP) |
| übergreifend | <ul style="list-style-type: none"> – Motivation und Interesse wecken (AFF) – angemessener Zeitaufwand: effiziente Nutzung der Unterrichtszeit, realistische Vor- und Nachbereitungsdauer (ORG) – Einhaltung der Arbeitssicherheit (ORG) – Kompetenzerleben (AFF) <i>durch</i> einen angemessenen Grad der Herausforderung (AFF) und eine hohe Gelingenswahrscheinlichkeit (EXP) – Durchschaubarkeit des Gesamtversuchsaufbaus und einzelner Bestandteile sowie deren Handhabung/ Bedienung (EXP) |
| für <i>nicht</i> materialabhängig befundene Anforderungen | <ul style="list-style-type: none"> – Passung von Idee und experimenteller Umsetzung – räumliche Grundausstattung und personelle Möglichkeiten – <i>Anforderungen an die Lehrkraft</i>: Strukturierungshilfen, Feedback, positive Fehlerkultur, kooperatives Lernen, soziale Eingebundenheit, Instruktionsqualität, nachvollziehbare Einbettung des Experiments in den Unterrichts-gang, fachliche Korrektheit, Relevanz des Lerninhalts |

Anmerkung. In Klammern ist angegeben, ob es sich um eine organisatorische (ORG), experimentelle (EXP) oder affektive (AFF) Anforderung handelt.

2.4.2.2 Erläuterung der materialabhängigen Anforderungen

Es folgt eine theoretische Erläuterung der von den ExpertInnen als materialabhängig identifizierten fachdidaktischen Anforderungen an ein gelungenes Experiment, begonnen mit den organisatorischen Anforderungen.

organisatorische Anforderungen: Rahmenbedingungen, Zeitaufwand, Arbeitssicherheit

Vor allem aus der Perspektive von Lehrkräften als „Anbieter“ von Schulexperimenten und Experimentiermaterialien müssen bei der Betrachtung von Anforderungen an ein gelungenes Experiment auch unterrichtsorganisatorische Aspekte berücksichtigt werden. Dabei offensichtlich ist die Anforderung ausreichend **finanzieller** wie **materieller**

Möglichkeiten sowie die Verfügbarkeit von Fachräumen unter Berücksichtigung gängiger Klassifikationen von Schülerexperimenten, darunter die Gruppengröße oder der notwendige Betreuungsgrad (Engeln, 2004). Gleichzeitig ist die Einhaltung der Richtlinien zur **Sicherheit** im Unterricht (RiSU, 2016) als übergeordnete Anforderung zu verstehen, die neben der Fachraumausstattung vor allem den Einsatz von Gefahrstoffen reglementiert und verschärft sowie eventuelle Tätigkeitsbeschränkungen beschreibt. Bezüglich der Anforderungen an Versuchsaufbauten und einzelne Experimentiermaterialien gibt die RiSU mechanische Stabilität (II 1.4.1, S. 76) und Standfestigkeit (II 1.4.4, S. 77) vor. Auf den Einsatz von Alltagsmaterialien oder Materialien aus der Medizintechnik wird nicht explizit eingegangen; es findet sich lediglich ein kurzer Abschnitt zum Einsatz von Spritzen und insbesondere Kanülen.⁵ Als eine Schwierigkeit zur Umsetzung von Schülereperimenten wurde bereits beschrieben, dass im Unterricht zu wenig Zeit zur Durchführung der Experimente zur Verfügung steht. Dabei ist zu bedenken, dass im Unterricht selbst in der Regel „mehr Zeit für Vor- und Nachbereiten als für das eigentliche Experimentieren aufgewendet [wird]“ (Tesch, 2005, S. 95). Eine Anforderung an Experimente muss daher sein, dass sie innerhalb der gängigen **Unterrichtszeit** umsetzbar sind (Anders & Berg, 2005). Unter diesen zeitlichen Aspekt fällt jedoch auch der von der Lehrkraft aufzubringende Zeitaufwand in der Unterrichtsvor- und -nachbereitung, der in Kombination mit hohen Klassenfrequenzen bereits als ein Grund für das Ausbleiben von Experimenten und dabei vor allem Schülerexperimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht identifiziert wurde (s. Abschnitt 2.2.1). Als eine weitere organisatorische Anforderung an Experimente ist folglich festzuhalten, dass sie nicht nur in der Unterrichtsstunde selbst, sondern auch in deren **Vor- und Nachbereitung** möglichst wenig Zeit in Anspruch nehmen dürfen.

Wie in den Tabellen 5 und 6 bereits skizziert, lassen sich experimentelle und affektive Anforderungen im Rahmen von Schülereperimenten kaum getrennt voneinander beschreiben, sodass sie auch im Folgenden gemeinsam erläutert werden.

⁵ Im Rahmen von Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen, Lebewesen und Lebensmitteln wird als organisatorische Schutzmaßnahme vorgeschrieben: „Spritzen, Kanülen und Skalpelle sollen nur wenn unbedingt nötig benutzt werden. Benutzte Kanülen und Skalpelle direkt in die Kanülenabfallbehälter geben, nie in die Schutzhüllen zurückstecken. Nur Sicherheitskanülen (nach TRBA 250) verwenden“ (RiSU 2016, S. 210).

Grad der Herausforderung

Die in Abschnitt 2.4.1 genannten Schwierigkeiten beim Experimentieren implizieren Unstimmigkeiten bei der Passung von den für eine Experimentieraufgabe benötigten und andererseits vorhandenen Fähigkeiten der SchülerInnen als „NutzerInnen“ von Schülerexperimenten und Experimentiermaterialien. Schließlich stellt gerade das Experimentieren hohe und vielfältige Ansprüche bezüglich der kognitiv zu verarbeitenden Informationsmenge an die SchülerInnen: Oftmals müssen gleichzeitig Anleitungen gelesen, Geräte bedient, Aufbauten verstanden, Beobachtungen gemacht und parallel festgehalten werden (Härtig, Neumann & Erb, 2017; Rincke, 2016; Schulz, 2010). Infolge dieser Vielfalt gleichzeitig geforderter Fähigkeiten muss ein Experiment für SchülerInnen einen angemessenen **Grad der Herausforderung** darstellen und Erfolgserlebnisse ermöglichen. Demnach darf ein Experiment die Fähigkeiten der SchülerInnen sowohl in seiner Planung, seinem motorischen Anspruch, seiner Komplexität als auch in der fachlichen Auswertung weder unter- noch überfordern, um eine kognitive Aktivität zwar anzuregen und potentiell Interesse an den Naturwissenschaften zu generieren, ohne jedoch das Gefühl von Frustration durch Überforderung auszulösen (Förtsch, Werner, Dorfner, Kotzebue & Neuhaus, 2017; Gardner & Gauld, 1990; Hodson, 1993). *Kognitive Aktivität* meint dabei in der zitierten Fachliteratur den Grad der gedanklichen Auseinandersetzung einer Person mit dem jeweiligen Lerngegenstand, wobei Überforderung dann entstehen kann, wenn die vorhandenen Fähigkeiten und kognitiven Kapazitäten einer Person nicht mehr ausreichen, die an sie gestellten Aufgaben in der angedachten Weise erfüllen zu können. Lerngelegenheiten mit einem angemessenen Grad der Herausforderung und damit einer angemessenen Aktivierung sind demnach jene Aufgaben, die die individuellen Fähigkeiten einer Person weder über- noch unterfordern (Klieme et al., 2001; Kunter, 2005). Unter anderem Bader und Lühken (2018) weisen diesbezüglich auf die Angemessenheit von Experiment und Altersstufe der SchülerInnen und deren *kognitiven Anforderungsprofilen* hin. Mit Blick auf die eingesetzten Experimentiermaterialien machen sie darauf aufmerksam, dass „komplizierte Apparaturen . . . bereits einen Großteil der geistigen Kapazität der Lernenden beanspruchen“ (S. 465). Sowohl mit Blick auf die Phase des Versuchsaufbaus als auch der -durchführung stellt sich für die hier angelegte Untersuchung die Frage, ob und inwiefern das Experimentiermaterial – alternatives wie klassisches – den von SchülerInnen empfundenen Grad der Herausforderung beim Experimentieren beeinflusst. In Anlehnung an Engeln (2004) ist eine angemessene Herausforderung für den Rahmen

dieser Arbeit dann vorhanden, „wenn die Schülerinnen und Schüler sich anstrengen und über das Experiment nachdenken“ (S. 37).

Durchschaubarkeit

Die **Durchschaubarkeit**, auch Verständlichkeit, von Unterrichtsinhalten, Instruktionen und der verwendeten Fachsprache ist eines der fachübergreifend geltenden Tiefenstrukturmerkmale von Unterrichtsqualität, zu dem sowohl ein Zusammenhang zur Motivation als auch zum Lernerfolg der SchülerInnen beschrieben wird (Helmke & Schrader, 2010; Klieme, 2006). Dass unter die Durchschaubarkeit von Experimenten auch das konkrete Experimentiermaterial fällt, macht unter anderem Behrendt (1990) deutlich, indem sie die Notwendigkeit der völligen Durchschaubarkeit eines Experiments, dessen Versuchsaufbau, der Funktion einzelner Teile des Versuchsaufbaus sowie das Wissen über die Bedienung der eingesetzten Geräte betont. Darüber hinaus hält Behrendt (ebd.) einen Einfluss von Farbe, Design und Übersichtlichkeit der Geräte und deren Anordnung auf die Durchschaubarkeit einer Apparatur und damit das Lernen im experimentellen Physikunterricht fest. In der aktuellen fachdidaktischen Forschung werden in Bezug auf die Durchschaubarkeit von Versuchsaufbauten Eye-Tracking Methoden angewandt, die über die visuelle Aufmerksamkeit von ProbandInnen auf deren kognitiven Fokus bei der Betrachtung einer Versuchsaufbau schließen lassen. Entsprechende Studien mit Studierenden bestätigen, dass sowohl die Position von Objekten, die umherstehenden Materialien, ihre Größe sowie psychologische Wahrnehmungsgesetze beeinflussen, welche Materialien als relevant empfunden werden (Nehring & Busch, 2018; Nehring, Springfeld & Taubert, 2017).⁶ Da alternative und klassische Experimentiermaterialien sich entsprechend ihrer hier angelegten Definition in ihrer Funktion, aber auch in Eigenschaften wie ihrer Größe oder Positionierung einzelner Teile innerhalb des Versuchsaufbaus voneinander unterscheiden, ist ein Einfluss des Materials auf die Durchschaubarkeit einer Versuchsaufbau und ihrer Einzelbestandteile denkbar. Indem dies im Rahmen dieser Arbeit untersucht wird, wird ebenso dem in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Argument nachgegangen, dass alternative Versuchsaufbauten aufgrund des oftmals möglichen Verzichts auf wahrnehmungsaktive Stativmaterialien weniger komplex und damit leichter durchschaubar sind als ein Versuchsaufbau mit klassischem Labor- und Stativmaterial (s. Tabelle 3).

⁶ Da die hier durchgeführte Untersuchung *primär* Schülerexperimente fokussiert, wird auf eine Darstellung der psychologischen Wahrnehmungsgesetze nach Schmidkunz (1983) verzichtet. Diese wären von zentraler Bedeutung gewesen, wenn explizit Anforderungen an ein gelungenes *Demonstrationsexperiment* betrachtet worden wären.

Genese von Motivation und Interesse

Eine Kernfunktion von Schulexperimenten ist das Wecken von Interesse an sowie Motivation für die Naturwissenschaften und naturwissenschaftliche Fragestellungen. Entwicklungen, Hintergründe und begriffliche Differenzierungen in Bezug auf lernpsychologische Motivations- und Interessentheorien können hier nur ungerecht knapp dargelegt werden, beide beschäftigen sich aber grundlegend mit dem Zustandekommen von Lernen und Faktoren, die dieses Lernen positiv wie negativ beeinflussen. Mit Blick auf das Ziel dieser Untersuchung stellt sich die Frage, ob oder inwiefern auch das Experimentiermaterial einen Faktor darstellt, der die Motivation und das Interesse am experimentellen Chemieunterricht beeinflussen kann. Um mögliche Zusammenhänge transparent zu machen, werden im Folgenden jeweils eine weitverbreitete Motivations- und Interessentheorie vorgestellt und auf das Experimentieren im Chemieunterricht angewandt.

Motivation

In Bezug auf die Motivation beim Experimentieren wird dieser Arbeit die Selbstbestimmungstheorie von Ryan und Deci (2000) zugrunde gelegt, die Bedingungen zur Genese intrinsischer Lernmotivation zusammenfasst. Dabei meint Lernmotivation eine intentionale, auf ein bestimmtes Ziel gerichtete Absicht einer Person, konkrete Fähigkeiten oder Inhalte zu erlernen (Schiefele, 1996). Im Rahmen motivationaler Orientierungen von SchülerInnen wird dabei grundlegend unterschieden in intrinsische (aus eigenem Antrieb) und extrinsische Motivation (durch externe Anreizfaktoren). Bezogen auf das Empfinden von Lernmotivation beim Experimentieren bedeutet dies: Motivierte SchülerInnen empfinden pures Vergnügen an der konkreten experimentellen Handlung (intrinsisch) und sind außerdem aufgrund der daraus resultierenden Folgen, beispielsweise der Steigerung der eigenen Experimentierkompetenz, motiviert (extrinsisch).⁷ Damit der Aufbau einer solchen Motivation gelingt, gehen Ryan und Deci (2000) von einer Trias aus individuellen Grundbedürfnissen aus:

(i) *Need for competence* (Kompetenzerleben): das Erleben der eigenen Kompetenz und Handlungsfähigkeit in Bezug auf an die Person gestellte Aufgaben, die ohne äußere Hilfestellungen bewältigt werden können

⁷ Es soll darauf verwiesen werden, dass Krapp (1999) diese strikte Trennung zwischen extrinsisch und intrinsisch als unzureichend einstuft und *jedem* schulischen Lernen eine Zweckorientierung und damit extrinsische Motivation zuschreibt.

(ii) *Need for autonomy* (Autonomieerleben): ein Selbstbestimmungserleben sowohl in Bezug auf gesetzte Ziele als auch das zu deren Erreichen notwendige Vorgehen

(iii) *Need for social relations* (soziale Eingebundenheit): das Gefühl der sozialen Eingebundenheit in eine das Individuum wertschätzende Interessensgemeinschaft

Der unmittelbare Zusammenhang zwischen der Erfüllung dieser drei sogenannten ‘basic needs’ im Unterricht und höheren Lernleistungen von SchülerInnen ist vielfach belegt (Schiefele & Schreyer, 1994). Von solch allgemeinen Lehr-/ Lernkontexten ausgehend, sollen sie für den Rahmen dieser Arbeit nun auf die Gestaltung von Experimenten im Chemieunterricht übertragen werden, dabei vor allem mit Blick auf das eigenständige Experimentieren von SchülerInnen im Schülerexperiment:

(i) Kompetenzerleben: Ob eine Person sich selbst in einer Lernsituation als kompetent erlebt, ist abhängig von einem angemessenen Grad der Herausforderung innerhalb der Situation (Kunter, 2005). Wodurch sich ein angemessener Grad der Herausforderung auszeichnet, wurde bereits definiert. Für das Untersuchungsziel dieser Arbeit ist dabei der Grundgedanke relevant, dass je mehr Erfolgserlebnisse einer Person im Rahmen einer herausfordernden Tätigkeit widerfahren, desto höher ist ihr Kompetenzerleben in Bezug auf das bestimmte Thema oder die bestimmte Tätigkeit, hier das Experimentieren. Die SchülerInnen müssen mit ihrer eigenen experimentellen Leistung folglich zufrieden sein. Allgemeinpädagogisch anerkannt ist im Zuge dessen auch der positive Einfluss des Kompetenzerlebens auf das Gefühl der individuellen Selbstwirksamkeit (White, 1959), auf die Selbstwirksamkeitserwartung von SchülerInnen gegenüber den Naturwissenschaften (Britner & Pajares, 2006) sowie explizit auch auf die experimentierspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen von SchülerInnen (Dorfman & Fortus, 2019). Dabei beschreibt das Konstrukt der Selbstwirksamkeitserwartung – auch Kompetenzüberzeugung – die Einschätzung einer Person, eine an sie (auch zukünftig) gestellte, herausfordernde Aufgabe aus eigener Kompetenz heraus und erwartungsgemäß bewältigen zu können. Ausführliche theoretische Grundlagen zu diesem Konstrukt sind unter anderem den Arbeiten von Bandura (1993) und Jerusalem und Diether (2002) zu entnehmen.

Um statt potentieller Frustration durch Überforderung ein solches Kompetenzerleben auch im Rahmen von Schülerexperimenten zu ermöglichen, muss ein solches folglich einen richtigen motorischen wie kognitiven Grad der Herausforderung aufweisen und dadurch Erfolgserlebnisse vermitteln. Um das Gefühl eines Erfolgserlebnisses zu

vermitteln, ist es für jedes Schulexperiment *außerdem* zentral, dass es sich durch eine deutliche **Gelungenheit** und hohe Gelingenswahrscheinlichkeit auszeichnet. So beschreibt Schulz (2010) in ihrer Studie zu experimentierspezifischen Qualitätsmerkmalen über alle Phasen des Experimentierprozesses hinweg einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen der Gelungenheit eines Experiments und dem Lernerfolg, der Motivation und dem Interesse der befragten SchülerInnen. Um ein Experiment wiederum als *gelingen* einstufen zu können, haben unter anderem Bader und Lühken (2018) folgende Anforderungen festgehalten: Unabhängig vom konkreten Experimentiermaterial muss ein gelungenes Experiment fachlich das zeigen, was es zu zeigen vorgibt, um eine sachgerechte Vermittlung von Fachwissen und konzeptuellem Wissen zu ermöglichen. Dies schließt ein, dass stets der begrenzte Gültigkeitsanspruch des Experiments erkennbar gemacht wird, auch um Fehlinterpretationen des Beobachteten und daraus potentiell resultierende, hausgemachte Fehlvorstellungen möglichst auszuschließen. Dafür ist auch in Bezug auf die verwendete Fachsprache ein angemessener Grad der Elementarisierung nötig, um den Lerninhalt des Experiments zwar unter Einhaltung der fachlichen Richtigkeit, aber gleichzeitig für SchülerInnen verständlich vermitteln zu können. Darüber hinaus muss ein praktisch gelungenes Experiment zusätzlich einen deutlichen, vollständig und detailliert zu beobachtenden Effekt⁸ zeigen; alle Effekte und Ergebnisse müssen zwecks intersubjektiver Überprüfbarkeit außerdem reproduzierbar sein. Entsprechend des Expertenratings werden insbesondere diese praktischen Aspekte der Gelungenheit eines Experiments im Rahmen dieser Arbeit auf ihre Materialabhängigkeit hin überprüft.

(ii) Autonomieerleben: Das Autonomieerleben in Lernsituationen ist nicht als gänzliche Unabhängigkeit der SchülerInnen zu verstehen, sondern äußert sich speziell für den Bereich des naturwissenschaftlich-experimentellen Unterrichts in Form von mehr oder weniger von der Lehrkraft vorgegebenen Fachinhalten, Strategien und Methoden beim Experimentieren, in der Anzahl an Lösungen und Lösungswegen oder den Vorgaben innerhalb der unterschiedlichen Phasen des Experimentierprozesses (Priemer, 2011). In der fachdidaktischen Forschung wird das Autonomieerleben daher oftmals über die *Offenheit* einer Lernsituation, hier der praktischen Erfahrung beim Experimentieren, operationalisiert. Es soll erwähnt sein, dass bisherige Studien zu Zusammenhängen zwischen der Offenheit einer Lernumgebung und der Einstellung der SchülerInnen und dem Lernen keine

⁸ Unter *Effekten* werden im Kontext von Versuchsbeobachtungen fortan jegliche Art einer zu beobachtenden chemischen Reaktion oder physikalischer Umwandlung verstanden (z.B. Aggregatzustandsänderungen, Farbeffekte, Gasentwicklungen).

einheitlichen Ergebnisse zeigen (z.B. Hopf, 2007; Kirschner, Sweller & Clark, 2006; Winkelmann, 2015). Oftmals ist es statt der Offenheit eher die Kommunikation und Kooperation mit den MitschülerInnen, die beim Experimentieren in Kleingruppen auf die Motivation von SchülerInnen wirkt (Arzi, 2003; Gardner & Gauld, 1990). Neben der Offenheit der Experimentiersituation ebenso denkbar ist das Generieren eines Autonomieerlebens durch Mitbestimmung, beispielsweise bei der Auswahl von Arbeitsmitteln, Materialien und Medien (Apel, 2009).

(iii) soziale Eingebundenheit: Dem Bedürfnis der sozialen Eingebundenheit wird eine weniger zentrale Rolle bei der Genese intrinsischer Motivation zugeschrieben als dem Erleben von Kompetenz und Autonomie (Deci & Ryan, 2000). Auch für diese Untersuchung spielt der Aspekt der sozialen Eingebundenheit insofern eine eher untergeordnete Rolle, als dass die befragten ExpertInnen es als Aufgabe der Lehrkraft einstufen, durch den Einsatz kooperativer Lernformen eine konstruktive und wertschätzende Zusammenarbeit der SchülerInnen untereinander zu ermöglichen und das Experimentiermaterial dabei eine untergeordnete Rolle spielt. Nichtsdestotrotz soll nicht ignoriert werden, dass die Materialverfügbarkeit die Gruppengröße während eines Schülerexperiments beeinflusst (s. Tabelle 6) und diese wiederum auch die wahrgenommene Eingebundenheit der einzelnen SchülerInnen während des Experimentierens beeinflussen könnte.

Interesse

Wohingegen Motivation und die motivationale Orientierung *eher* als Persönlichkeitsmerkmale von Personen behandelt werden, wird im Rahmen von Interessentheorien die inhaltliche Ausrichtung, auch Gegenstandsbezogenheit des Lernens berücksichtigt. Schließlich ist denkbar, dass zwar alle drei motivationalen Grundbedürfnisse des Lernens in einer Situation erfüllt sind, trotzdem muss nicht automatisch auch Interesse bei einer Schülerin/ einem Schüler vorhanden sein. Daher soll im Folgenden auch die Person-Gegenstands-Theorie des Interesses nach Krapp (2002) beschrieben werden, wobei für eine umfassende theoretische Erläuterung auch hier auf die zitierte Primärliteratur verwiesen werden muss.

Die Person-Gegenstands-Theorie des Interesses geht davon aus, dass Lernmotivation auf dem Interesse einer Person gegenüber einem Lerngegenstand beruht. Für den schulischen Kontext muss sich demnach die Frage gestellt werden, wie Interesse initiiert werden kann. Im Sinne Krapps (2002) ist dazu das Wecken eines sogenannten *situationalen Interesses* gegenüber dem Lerngegenstand in einer konkreten Handlungssituation notwendig, beispielsweise durch eine entsprechend aufbereitete Lernumgebung, die die Aufmerksamkeit der SchülerInnen in der Situation auf sich zieht (*catch-facet*). Dieses situationale Interesse kann nur von kurzer Dauer sein oder durch sogenannte Hold-Faktoren (*hold-facets*) zu einem vorübergehenden oder stabilen *individuellen Interesse* als Merkmal einer Person internalisiert werden (auch: dispositionales Interesse). Dabei können Hold-Faktoren auch das regelmäßige Erleben von Kompetenz, Autonomie und sozialer Eingebundenheit sein. Anforderungen zur Genese von Interesse und Motivation überschneiden sich demnach häufig. Bezogen auf den hier relevanten Kontext einer Experimentiersituation können Zusammenhänge zwischen der Selbstbestimmungstheorie, der Person-Gegenstands-Theorie und Anforderungen an ein Schulexperiment wie in Abbildung 3 dargestellt werden.

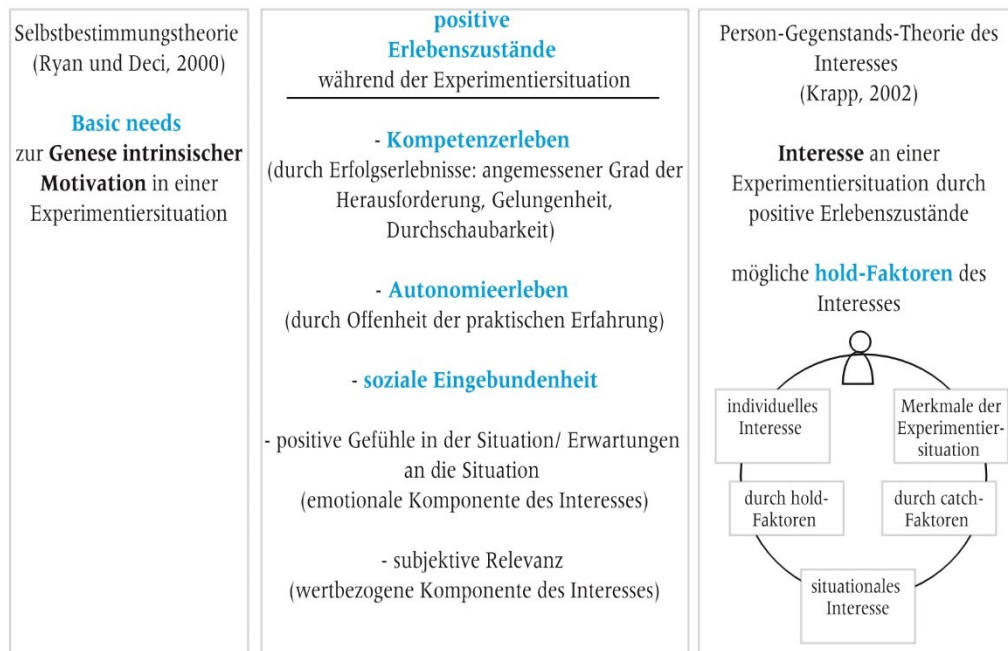


Abbildung 3. Zusammenhänge zwischen der Selbstbestimmungstheorie, der Person-Gegenstands-Theorie des Interesses und fachdidaktischen Anforderungen an ein Experiment im Chemieunterricht (farbige Markierung).

Hat eine Person Interesse an einem (Lern-) Gegenstand, bedeutet dies, dass sie innerhalb eines Person-Gegenstand-Verhältnisses dem (Lern-) Gegenstand eine subjektive Wertschätzung zuspricht. Unterteilt wird diese Wertschätzung in eine emotionale und eine wertbezogene Komponente: Bezogen auf den Lehr-/ Lernkontext ist Interesse zum einen abhängig von der Qualität und Menge positiv erlebter Gefühle, Erinnerungen und Erwartungen in einer Lernsituation gegenüber dem Lerngegenstand (emotionale Komponente). Entsprechende Erlebenszustände werden oft durch sogenannte *academic emotions* wie Vergnügen, Stolz, Hoffnung, aber auch Langeweile oder Angstempfinden während einer Lernsituation beschrieben, die als positive beziehungsweise negative Prädikatoren für die Lernleistung von SchülerInnen sowie deren intrinsische Motivation vielfach belegt sind (Goetz, Zirngibl, Pekrun & Hall, 2003; Pekrun, Goetz, Titz & Perry, 2002). In Bezug auf das konkrete Experimentiermaterial beispielsweise zeigen sich SchülerInnen im Chemieunterricht ängstlich, teures Schulmaterial zu zerstören und setzen diese Sorge auf Rang 7 von 12 Faktoren, die ihre Einstellung gegenüber der Laborarbeit beeinflussen (Okebukola, 1986).

Zum anderen ist das Interesse abhängig von der subjektiven Bedeutung, die dem Lerngegenstand zugeschrieben wird. Nur wenn dieser vorübergehend oder dauerhaft als persönlich wichtig empfunden wird und Bereitschaft vorhanden ist, sich aktiv und näher mit dem Gegenstand auseinanderzusetzen, kann sich Interesse entwickeln (wertbezogene Komponente). Im Zuge dessen wird bei einer von Interesse geleiteten Handlung stets auch von einer epistemischen Orientierung der Person gegenüber dem Gegenstand ausgegangen: Ihrer Bereitschaft sich zukünftig selbstinitiiert, auch über die aktuell erlebte Handlungssituation hinaus, mit dem wertgeschätzten Gegenstand auseinanderzusetzen. Prenzel (1995) beispielsweise formuliert unter grundlegenden Anforderungen an interessegenerierende Lernumgebungen, neben einer wahrgenommenen Instruktionsqualität und inhaltlichem Interesse beim Lehrenden, die notwendige inhaltliche Relevanz des Lerninhalts durch einen lebensweltlichen Kontext. Speziell für den Chemieunterricht stellen van Vorst, Fechner und Sumfleth (2018) hingegen fest, dass SchülerInnen Lerninhalte mit alltäglichem Kontext zwar als relevanter empfinden, sie den Inhalt jedoch mit weniger Vergnügen bearbeiten als Kontexte, die sich durch das Merkmal 'Besonderheit' auszeichnen. Überträgt man diese Befunde auf die Ebene der Experimentiermaterialien, stehen sie im Einklang mit den in Abschnitt 2.2.2 bereits zitierten Ergebnissen von Behrendt (1990) zu Schülerpräferenzen hinsichtlich unbekannter, „besonderer“ Labor- statt

bekannter Alltagsmaterialien im Physikunterricht. Auch bei einem Vergleich der Wirkung „echter High-End-Laborgeräte“ in Schülerlaboren und dem regulären Laborgerät im Physikunterricht konnte eine stärkere Authentizitätswahrnehmung „echter“ Laborgeräte und ein stärkeres situationales Interesse von SchülerInnen an eben jenen gezeigt werden (Schüttler, Watzka, Girwidz & Ertl, 2021). Dies ist für die hier durchgeführte Untersuchung insofern interessant, als dass durch ein zur Verfügung stellen sowohl alternativer als auch klassischer Experimentiermaterialien eine Möglichkeit zur Mitbestimmung von SchülerInnen bei der praktischen Umsetzung von Experimenten geschaffen werden könnte, gleichzeitig jedoch zu hinterfragen ist, ob Experimentiermaterialien mit Alltags- oder medizintechnischem Hintergrund auch im Chemieunterricht weniger Interesse bei den SchülerInnen wecken als der Umgang mit *ehere* unbekanntem klassischem Labormaterial.

Mit der Selbstbestimmungstheorie sowie der Person-Gegenstands-Theorie sind hier zwei große Theorien lernpsychologischer Forschung lediglich angeschnitten. Die Überschneidung beider Theorien sowie ihre Relevanz für diese Arbeit liegen in ihrer gemeinsamen Grundlage zur Generierung von Motivation beziehungsweise Interesse: positive Erlebenszustände von Personen während einer Tätigkeit beziehungsweise einer von Interesse geleiteten Handlung, hier zu übertragen auf SchülerInnen beim Experimentieren im Chemieunterricht (Krapp, 1999, 2005). Zwar wird dabei auf theoretischer Ebene zwischen *basic needs* und *academic emotions* unterschieden, von der Bedeutsamkeit allgemein *positiver Erlebenszustände* für die Lernmotivation von SchülerInnen kann jedoch sicher ausgegangen werden (Krapp & Ryan, 2002).

2.5 Zentrale Fragestellungen der Arbeit

Vor allem durch eine insgesamt einfachere, da zeit- und kosteneffizientere Umsetzung ist das Ziel der Etablierung alternativer Experimentiermaterialien im Chemieunterricht der Schulen die Steigerung der Häufigkeit von Experimenten und dabei insbesondere von Schülerexperimenten. Vor einer solch angestrebten Verbesserung des Ist-Zustandes sollte jedoch sowohl aus der Perspektive von Lehrkräften als auch der der SchülerInnen Klarheit über Potentiale und Schwierigkeiten der Materialien im Vergleich zu etabliertem klassischem Labormaterial herrschen.

Für einen solchen Vergleich beider Materialpools ist es zunächst notwendig, diejenigen Materialeigenschaften zu identifizieren, in denen sich alternative Experimentiermaterialien und klassische Labormaterialien voneinander unterscheiden. Erst im Anschluss daran können Einflüsse unterschiedlicher Eigenschaftsausprägungen auf die in Tabelle 6 dargestellten und in Abschnitt 2.4.2.2 detailliert beschriebenen Anforderungen an ein Experiment im Chemieunterricht analysiert werden. Der Einfluss des Experimentiermaterials auf jene fachdidaktischen Anforderungen wird im Rahmen von zwei Studien sowohl aus der Perspektive der Lehrkräfte (F 1) als auch der Perspektive der SchülerInnen (F 2) beurteilt. Wie der Formulierung der Forschungsfragen zu entnehmen ist, kommen dabei sowohl quantitative (QUAN) als auch qualitative (QUAL) Datenerhebungsmethoden zum Einsatz, deren Zusammenhang wiederum im Rahmen des Untersuchungsdesigns (s. Abschnitt 3) näher erläutert wird.

Die Untersuchung beantwortet folgende Forschungsfragen:

STUDIE I: Perspektive der Lehrkräfte

F 1

Welchen Einfluss alternativer Experimentiermaterialien und klassischer Labormaterialien beschreiben Lehrkräfte in Bezug auf fachdidaktische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht?

F 1.1: *In welchen materialbezogenen Eigenschaften unterscheiden sich alternative Experimentiermaterialien und klassische Labormaterialien voneinander?*

F 1.2: *Welchen Einfluss haben diese materialbezogenen Eigenschaften auf fachdidaktische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht?*

STUDIE II: Perspektive der SchülerInnen

F 2

Wie nehmen SchülerInnen das Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien und klassischen Labormaterialien in Bezug auf fachdidaktische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht wahr?

F 2.1: *Haben alternative Experimentiermaterialien und klassische Labormaterialien Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung von SchülerInnen bezüglich experimenteller und affektiver Anforderungen an ein Experiment?* (QUAN)

F 2.2: *Inwiefern beschreiben SchülerInnen einen Einfluss materialbezogener Eigenschaften auf fachdidaktische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht?* (QUAL)

Das Forschungsinteresse dieser Arbeit ist in Abbildung 4 zusätzlich grafisch dargestellt:

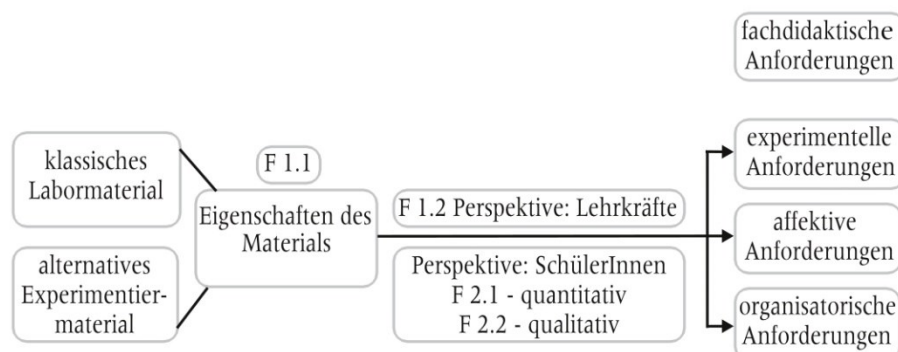


Abbildung 4. Grafische Darstellung des zentralen Forschungsinteresses der Arbeit.

3 Allgemeines Untersuchungsdesign

Clausen (2002) beschreibt eine Abhängigkeit der Wahrnehmung von Unterrichtsqualität aus der Perspektive des jeweiligen Betrachters: der der Lehrkräfte, der SchülerInnen und in einer Vielzahl von Studien auch der Perspektive externer Unterrichtsbeobachter. Nach Clausen weist jede Beurteilungsperspektive andere Anteile auf, die zusammengenommen ein möglichst realistisches Bild der Unterrichtswirklichkeit abbilden. Überträgt man diese Abhängigkeit zwischen Wahrnehmung von Unterrichtsqualität und Perspektive auch auf die Wahrnehmung von Experimentiersituationen mit jeweils unterschiedlichen Experimentiermaterialien, müssen auch in dieser Untersuchung alle dafür notwendigen Perspektiven – die der Lehrkräfte und die der SchülerInnen – berücksichtigt werden, um ein umfassendes Bild des Gegenstandsbereichs zu erhalten und die Intentionen der Entwickler entsprechend alternativer Experimentiermaterialien mit der tatsächlichen Wirkung auf Lehrkräfte und SchülerInnen vergleichen zu können. Aus diesem Grund gliedert sich die hier angelegte Untersuchung in zwei Studien, die jeweils eine der beiden Beurteilungsperspektiven fokussieren. Um sowohl Ziele als auch methodische Entscheidungen innerhalb beider Studien transparent zu machen, wird deren jeweilige Konzeption in den entsprechenden Abschnitten 4 und 5 detailliert dargestellt. An dieser Stelle wird zunächst das zugrundeliegende, in Abbildung 5 dargestellte Mixed-Method-Design⁹ der *Gesamtuntersuchung* beschrieben und begründet.

Da zum Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im Chemieunterricht kaum empirisch gesicherte Forschungsergebnisse vorliegen (s. Abschnitt 2.2.2), liegt der erste Schritt der Untersuchung in einer eher explorativ angelegten Interviewstudie unter Chemielehrkräften, die aus ihrer Praxiserfahrung heraus grundlegende Informationen über den Untersuchungsgegenstand liefern können (Studie I: Beantwortung von F 1). Die gesammelten Informationen aus dieser rein qualitativ angelegten Interviewstudie werden unter anderem genutzt, um Hypothesen zur Wahrnehmung alternativer und klassischer Experimentiermaterialien durch SchülerInnen zu entwickeln (Studie II: Beantwortung von F 2). In dieser zweiten Studie werden die aufgestellten Hypothesen über standardisierte quantitative Datenerhebungsmethoden getestet, um möglichst generalisierbare

⁹ Ausführliche methodische Erläuterungen zu dieser Art von Forschungsdesigns und -methodik finden sich unter anderem bei Creswell und Plano Clark (2011) oder Tashakkori und Teddlie (2010).

Aussagen zur Schülerwahrnehmung bezüglich alternativer und klassischer Experimentiermaterialien treffen zu können (F 2.1). Parallel dazu wird auch in Studie II auf Methoden des qualitativen Spektrums zurückgegriffen; konkret beantworten die befragten SchülerInnen offene Fragen innerhalb eines schriftlichen Fragebogens, mit einem anderen Teil der SchülerInnen werden stattdessen Gruppeninterviews geführt (F 2.2). Der Vorteil eines Mixed-Method-Designs liegt nun darin, dass diese zusätzlich erhobenen qualitativen Daten anschließend genutzt werden können, um die Ergebnisse der Hypothesentests tiefergehend und differenzierter interpretieren zu können. Eine solche Integration qualitativer und quantitativer Ergebnisse ermöglicht im Sinne einer Komplementarität einen insgesamt umfassenderen Blick auf den Forschungsgegenstand; außerdem validieren sich konvergente Ergebnisse durch Triangulation wechselseitig und steigern somit die Aussagekraft der Ergebnisse der Gesamtuntersuchung (Flick, 2011). Die Aussagekraft der Ergebnisse wird abschließend auch dadurch geprüft, dass die Ergebnisse aus Studie I und II, somit die Perspektiven der Lehrkräfte und SchülerInnen auf den Untersuchungsgegenstand, miteinander verglichen werden.

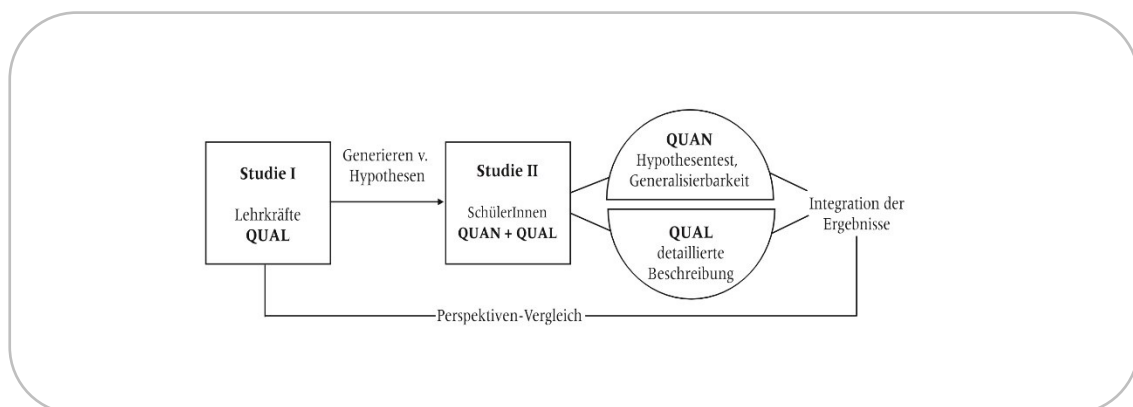


Abbildung 5. Schematische Darstellung des Mixed-Method-Designs der Gesamtuntersuchung.

Im Folgenden wird Studie I näher erläutert. Dazu werden die Stichprobe (Abschnitt 4.1), die empirische Methode des problemzentrierten Interviews (Abschnitt 4.2) sowie die Qualitative Inhaltsanalyse als Methode zur Datenauswertung (Abschnitt 4.3) beschrieben und ihre Wahl jeweils begründet. Anschließend werden die Ergebnisse der Studie präsentiert (Abschnitt 4.4), um das Kapitel – unter Berücksichtigung der Limitationen der Studie (Abschnitt 4.6) – zusammenzufassen (Abschnitt 4.5) und mit den Auswirkungen der Ergebnisse auf die Erhebung der Schülerperspektive in Studie II abzuschließen (Abschnitt 4.7).

4 Studie I – die Perspektive von Lehrkräften

4.1 Stichprobenbeschreibung

Das Ziel dieser ersten Studie liegt in einer Befragung von Lehrkräften, die durch ihre Unterrichtserfahrung und Lehrtätigkeit Informationen über den praktischen Einsatz und die Eignung alternativer Experimentiermaterialien im Vergleich zu klassischem Labormaterial liefern können. Da damit subjektive Meinungen erhoben werden, wurden bei der Zusammenstellung der Stichprobe von konkreten Kriterien geleitete Auswahlentscheidungen getroffen (Akremi, 2014), die einen möglichst „fairen“ Vergleich beider Materialpools sicherstellen sollen.

Ein erstes Auswahlkriterium lag darin, solche Lehrkräfte zu befragen, die das Konzept des Experimentierens mit alternativen Experimentiermaterialien kennen und diesem gegenüber offen eingestellt sind. Dazu wurden im Rahmen einer ersten Interviewanfrage über das Lehrerfortbildungszentrum des Instituts für Didaktik der Chemie der Goethe-Universität Frankfurt/ Main gezielt Chemie-Lehrkräfte kontaktiert, die nachweislich eine Fortbildung zum Thema ‘Experimentieren mit kleinen Mengen’ besucht haben, in der unter anderem Experimente mit alternativen Experimentiermaterialien vorgestellt und von den Lehrkräften selbst durchgeführt wurden. Durch die bewusste Teilnahme an dieser Fortbildung ist anzunehmen, dass entsprechende Lehrkräfte am Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im Unterricht grundlegend interessiert sind und potentiell bereits unterrichtspraktische Erfahrungen zum Einsatz einiger alternativer Materialien vorliegen. In einer zweiten Auswahlrunde wurde wiederum eine Interviewanfrage gestellt, mit der bewusst Lehrkräfte angefragt und in das Sample aufgenommen wurden, die noch keine praktischen Erfahrungen im Einsatz alternativer Experimentiermaterialien haben. Auf diese Weise wurden ebenso neutrale bis kritische Stimmen berücksichtigt und auch ohne entsprechende Erfahrungen im Umgang mit alternativen Experimentiermaterialien, verfügen diese Lehrkräfte aufgrund ihrer beruflichen Qualifikation über Erfahrungen beim Experimentieren mit SchülerInnen im Chemieunterricht und somit über relevantes, implizites Wissen über den eigentlichen Untersuchungsgegenstand. Solch implizites Wissen kann durch entsprechende Techniken im Rahmen der Datenerhebung explizit gemacht und artikuliert werden (Flick, 2017), worauf im Folgeabschnitt näher eingegangen wird. Da beide Interviewanfragen im Rahmen der Stichprobensammlung thematisch das

Experimentieren im Chemieunterricht fokussieren, kann außerdem davon ausgegangen werden, dass sich primär Lehrkräfte zurückmelden, die regelmäßig Experimente in ihrem Unterricht einsetzen. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass ein Großteil der interviewten Lehrkräfte mit Biologie oder Physik ein zweites Fach mit ebenfalls hohem Praxisanteil unterrichten. Weitere Kriterien bei der Auswahl der Stichprobe waren das Alter sowie die Schulform. So wurden bewusst Lehrkräfte verschiedenen Alters sowie verschiedener Schulformen befragt, um ein möglichst authentisches Meinungsbild und Ergebnisse für weite Teile der Schullandschaft generieren zu können. Eine Beschreibung der Stichprobe ist Tabelle 7 zu entnehmen; die Stichprobengröße wurde durch eine theoretische Sättigung festgelegt (Flick, 2017).

Tabelle 7
Stichprobenbeschreibung Studie I: Lehrkräfte

| | |
|---------------------------------|---|
| N Lehrkräfte | 13 (5 w/ 8 m) |
| Ø Alter [Jahre] | 45,9 |
| Schulform | Gymnasium (9) Gesamtschule (3)* Haupt- und Realschule (1) |
| Fächerkombination (Chemie +) | Naturwissenschaft/ en (9) Mathematik (3) Sport (1) |

Anmerkung. *Alle Lehrkräfte der Gesamtschule sind auch in Haupt- und Realschulklassen eingesetzt.

Bezüglich der Kenntnisse der befragten Lehrkräfte zu alternativen Experimentiermaterialien sei folgendes zusammengefasst: Demonstrationsexperimente mit der Spritzentechnik sind allen befragten Lehrkräften theoretisch bekannt; eine Lehrkraft setzt auch praktisch, sowohl im Demonstrations- als auch im Schülerexperiment, nahezu ausschließlich medizintechnische Materialien ein. Praktische Erfahrungen der weiteren Lehrkräfte beziehen sich im Rahmen von Schülerexperimenten vor allem auf den Einsatz von Kunststoffspritzen in Verbindung mit Gasen und bei Titrationen; in der erwähnten Fortbildung präsentiert und in den Interviews stellenweise aufgegriffen wurde außerdem ein selbst zu bauender Hofmannscher Zersetzungsapparat, der ebenfalls auf Kunststoffspritzen aufbaut (Borstel & Böhm, 2006). Die Erfahrungen der Lehrkräfte in Bezug auf Alltagsmaterialien im Chemieunterricht beziehen sich primär auf den Einsatz von Teelichtern und Blockbatterien; ebenso von einzelnen Lehrkräften eingesetzt wurde die alternative Destillationsapparatur entsprechend Abbildung 1 (El-Marsafy et al., 2011). Insbesondere in Bezug auf den Einsatz umfunktionierter Alltagsmaterialien wie Blisterpackungen,

Agraffen oder leeren Teelichthüllen muss jedoch das implizite Wissen der Lehrkräfte herangezogen werden. Aus diesen unterschiedlichen Erfahrungswerten der Lehrkräfte ergibt sich für die Interviews der Umstand, dass deren Fokus jeweils voneinander abweichen konnte. So beziehen sich einige Lehrkräfte *eher* auf das Experimentieren mit der Spritzentechnik, andere wiederum *eher* auf das Experimentieren mit (umfunktionierten) Alltagsmaterialien. Diesem Umstand wurde durch die Methode der Datenerhebung (s. Abschnitt 4.2) begegnet. Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit ist außerdem anzumerken, dass die Lehrkräfte in den Interviews eher den Begriff ‘Low-Cost’-Material nutzten. Auch im Rahmen dieser Arbeit werden die Begriffe ‘alternatives’ und ‘Low-Cost’-Experimentiermaterial fortan synonym genutzt.

4.2 Methode der Datenerhebung: Problemzentrierte Leitfadeninterviews

Als Methode zur Datenerhebung wurden problemzentrierte Interviews gewählt. Diese beziehen sich im Allgemeinen auf ein Problem oder einen Gegenstandsbereich und fokussieren dabei die subjektiven Erfahrungen, Vorstellungen, Reflexionen und/ oder Bewertungen einer/ eines Befragten zu dem Problem oder jeweiligen Gegenstandsbereich (Witzel, 1985). Dabei setzt das problemzentrierte Interview eine Orientierung an der Theorie voraus; die Problemstellung muss durch die Untersuchungsdurchführenden bereits analysiert und theoretische Hintergründe sowie bereits existierende Forschung vor Gesprächsbeginn bekannt sein. Dies ermöglicht sehr spezifische Fragestellungen, durch die wiederum eine theoretische Sättigung der Datenerhebung auch bei kleineren Stichprobengrößen möglich ist (Flick, 2017). Für den Rahmen der hier durchgeführten Untersuchung ist dies insofern zentral, als dass die Interviewfragen nicht *rein* explorativ angelegt sind, sondern entsprechend der in Abschnitt 2.4.2 beschriebenen fachdidaktischen Anforderungen an ein Experiment *auch* gezielt theoriegeleitet sind. Trotz dieser theoretischen Grundlage des Interviews beschreibt Witzel (1985) als weitere Voraussetzung der Methode, neben der Zuspitzung des Forschungsproblems, vor allem eine notwendige Gegenstands- und Prozessorientierung. Aus diesem Grund wurden Einzelinterviews unter Einsatz halbstrukturierter Leitfäden geführt. Diese ermöglichen die geforderte Flexibilität im Gespräch, indem die Reihenfolge von Themen und Fragen variiert werden kann, neue Aspekte spontan aufgenommen und situationsspezifische Abweichungen in den Fragestellungen vorgenommen werden können. Gleichzeitig verschaffen sie der/ dem

InterviewerIn eine bessere Orientierung während des Gesprächs, sodass das Antwortverhalten der Interviewten wiederum nicht durch die Art der Frageformulierung beeinflusst wird und die Inhalte der Interviews vergleichbar gehalten werden. Dies ermöglicht vor allem bei der Erhebung von Erfahrungen und subjektiven Meinungen eine objektivere, da standardisierte Datenerhebung (Kaiser, 2014).

Der letztlich eingesetzte Interviewleitfaden (s. Anhang A) wurde in folgende Phasen unterteilt:

- I *Gesprächsgrundlage*: Herstellung einer gemeinsamen Definition von alternativen Experimentiermaterialien zwischen InterviewerIn und Lehrkraft
- II *Einleitung*: offene, erzählgenerierende Sondierungsfragen zu bereits gemachten unterrichtspraktischen Erfahrungen und Einsatzmöglichkeiten alternativer Experimentiermaterialien im Vergleich zu klassischem Labormaterial
- III *Theoretische Untermuerung*: Evaluation des Einflusses alternativer und klassischer Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht
- IV *Interne Validierung*: Zuspitzung der Problemstellung
- V *Gesprächsende*: Freiraum für Anmerkungen seitens der Lehrkraft zu potentiell weiteren relevanten Aspekten zum Gegenstandsbereich

Um neben der gemeinsamen Definition (Phase I) zusätzlich sicherzustellen, dass sich beide Gesprächspartner auf dieselben alternativen Experimentiermaterialien beziehen, stand während der Interviewzeit eine vorbereitete Kiste mit entsprechendem Anschauungsmaterial zur Verfügung (s. Abbildung 1).¹⁰ Die Lehrkräfte wurden nicht angehalten, sich lediglich auf das gezeigte Material zu beziehen, sondern konnten jederzeit auch von Erfahrungen mit weiteren alternativen Materialien oder bestimmten Experimenten berichten, die sie mit alternativen Materialien umgesetzt haben. Das Anschauungsmaterial ermöglichte jedoch, dass Lehrkräfte anhand ihres impliziten Wissens realistische Einschätzungen zu Vorteilen und Schwierigkeiten alternativer Experimentiermaterialien im Vergleich zu etabliertem klassischem Labormaterial entwickeln und rückmelden können. Ein offener, erzählgenerierender Einstieg zum Experimentieren im Chemieunterricht sowie Erfahrungen im Einsatz alternativer Experimentiermaterialien (Phase II) bot zunächst die Möglichkeit einer weiteren Validierung der als materialbedingt identifizierten Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht (s. Tabelle 6). Schließlich ist denkbar,

¹⁰ Die jeweils klassischen Materialpendants wurden als bekannt vorausgesetzt.

dass die befragten Lehrkräfte auch über die in Tabelle 6 aufgelisteten Anforderungen hinaus einen relevanten Einfluss des Experimentiermaterials auf weitere Aspekte fachdidaktischer Qualität von Schulexperimenten beschreiben. Im Anschluss daran folgte der theoriegeleitete Block des Leitfadens (Phase III), innerhalb dessen die Lehrkräfte auch gefragt wurden, nach welchen Kriterien sie persönlich Experimente auswählen. Informationen darüber erwiesen sich vor allem in Bezug auf die materielle Situation an den Schulen der befragten Lehrkräfte als hilfreich. Die Reihenfolge der Fragen innerhalb dieser dritten Phase wurde flexibel an den Gesprächsverlauf angepasst, ebenso konnten Fragen auch ausgelassen werden, wenn die Lehrkräfte auf entsprechende Aspekte bereits selbstständig eingegangen sind. Da einige Lehrkräfte sich im Interview zum ersten Mal mit einzelnen, konkreten Ideen zum Einsatz alternativer Experimentiermaterialien konfrontiert sahen, wurde seitens der Gesprächsleitung explizit auf widersprüchliche und unklare Aussagen im Rahmen des Interviews geachtet und gegebenenfalls um Erläuterung oder Zusammenfassung des Gesagten gebeten. Dieser theoriegeleitete Block schloss mit Validierungsfragen ab, hier in Form einer bewusst zuspitzenden Entscheidungsfrage an die Lehrkräfte, ob und warum sie alternative Materialien als tatsächliche Alternative zu klassischem Labormaterial einstufen beziehungsweise nicht einstufen (Phase IV). Auch wenn die Intention der Untersuchung nicht in einer Entscheidung für den einen oder anderen Materialpool liegt, dient diese Zuspitzung der internen Triangulation der bis dahin formulierten Aspekte und stellt die Hauptargumente der einzelnen Lehrkraft noch einmal akzentuiert dar (Niebert & Gropengießer, 2014). Inklusiv des Gesprächsabschlusses (Phase V) lag die Dauer der Interviews bei durchschnittlich 45 Minuten.

Im Rahmen einer Pilotstudie wurde die Praktikabilität des Leitfadens durch Interviews mit zwei Chemielehrkräften getestet. Die strukturelle Reihenfolge der Frageblöcke bestätigte sich dabei als sinnvoll, auch auf inhaltlicher Ebene wurden keine Modifizierungen vorgenommen. Angepasst wurde die Formulierung einiger Leitfragen, um zwischen InterviewerIn und Lehrkraft mehr Klarheit über die Intention der jeweiligen Frage zu schaffen. Da es sich um rein sprachliche Verbesserungen handelte, wird der Entwicklungsprozess des Leitfadens an dieser Stelle nicht weiter dokumentiert. Solche Probeinterviews dienen darüber hinaus der Schulung der Interviewerin beziehungsweise des Interviewers. In die Stichprobenbeschreibung und Auswertung der hier vorgestellten Studie I wurden diese Probeinterviews *nicht* aufgenommen.

4.3 Methode der Datenauswertung: Qualitative Inhaltsanalyse

Die Datenauswertung zu Studie I bestand aus drei aufeinander aufbauenden Schritten:

Schritt 1 – Transkription: Nach der Durchführung und Aufzeichnung des Gesprächs lag der erste Schritt in der Datenaufbereitung. Dazu wurden die via Tonband aufgezeichneten Interviews wortwörtlich transkribiert und über Kommentare markiert, sobald während des Gesprächs auf das bereitgestellte Anschauungsmaterial Bezug genommen wurde. Stark betonte Worte wurden über eine durchgängige Großschreibung gekennzeichnet.

Schritt 2 – Klassifizierung: Im Anschluss an die Transkription des Interviewmaterials musste dieses zunächst so geordnet werden, dass anschließend eine strukturierte Beschreibung und Auswertung der Daten möglich wird. Dazu wurden auf Basis der Interviewdaten zunächst diejenigen Materialeigenschaften identifiziert und definiert, in denen sich alternative Experimentiermaterialien und klassische Labormaterialien nach Ansicht der Lehrkräfte voneinander unterscheiden (s. Forschungsfrage F 1.1). Diese Klassifizierung erlaubte anschließend in Schritt 3 der Textanalyse „die Ordnung [des] Datenmaterials nach bestimmten empirisch und theoretisch sinnvoll erscheinenden Ordnungsgesichtspunkten, um so eine strukturierte Beschreibung des erhobenen Materials zu ermöglichen“ (Mayring, 2010, S. 24).

Schritt 3 – Qualitative Inhaltsanalyse: In diesem letzten Schritt wurde das Interviewmaterial dahingehend analysiert, welche Einflüsse der in Schritt 2 identifizierten, die Materialpools unterscheidenden Materialeigenschaften auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment von den interviewten Lehrkräften beschrieben werden. Diese Einflüsse wurden anschließend über *Kategorien* festgehalten. Für die Kategorienbildung wurde eine Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2014) durchgeführt, die sich unter anderem im Bereich der fachdidaktischen Forschung zu einer der etabliertesten Methoden zur systematischen, heißt regel- und theoriegeleiteten, weniger interpretativen Auswertung sprachlichen Datenmaterials entwickelt hat. Konkret wurde im Rahmen dieser Untersuchung eine *zusammenfassende Inhaltsanalyse* durchgeführt, die das vorliegende Textmaterial durch Abstraktion auf seine wesentlichen Inhalte reduziert (ebd.). Dabei wird das Textmaterial nach theoriegeleiteten Oberthemen (*Selektionskriterien*) durchgegangen und jeweils bedeutungsgleiche/ -ähnliche Sinneinheiten bezüglich eines Oberthemas in Form einer Kategorie zusammengefasst (*induktive Kategorienbildung*). Ziel dieser Kategorienbildung ist die Aufstellung differenzierter *Kategoriensysteme*, die den Inhalt des

Textmaterials adäquat wiedergeben und abschließend vor dem theoretischen Hintergrund einer Untersuchung interpretiert werden können.

Für die Auswertung der hier geführten problemzentrierten Interviews eignet sich diese Methode in besonderem Maße, da die Lehrkräfte zwar offen auf alle Leitfragen antworten konnten, die Analyse der Interviewdaten und somit die Entstehung sowie Interpretation des Kategoriensystems jedoch vor dem theoretischen Hintergrund der Arbeit stattfinden. Folglich existierten für die Auswertung der Interviews 8 Selektionskriterien, entsprechend der in Tabelle 6 identifizierten materialabhängigen Anforderungen an ein Experiment im Chemieunterricht. Im Sinne der induktiven Kategorienbildung wurden inhaltlich ähnliche Aussagen der Lehrkräfte zum Einfluss des Experimentiermaterials auf je eines der Selektionskriterien zusammengefasst. Die konkrete Kategorienbildung erfolgt nach vorab definierten inhaltsanalytischen Auswertungskriterien, die im Sinne der Verfahrensdokumentation und Transparenz der Ergebnisse anhand eines exemplarischen Selektionskriteriums in Tabelle 8 beschrieben werden. Mit Ausnahme des entsprechend umformulierten Selektionskriteriums sowie der zugehörigen Auswertungsfrage blieben diese Auswertungskriterien für alle untersuchten Selektionskriterien, heißt für alle fachdidaktischen Anforderungen an ein Schulexperiment, identisch. Auf diese Art und Weise wurden zunächst 50 % der Interviews kodiert, um anschließend das bis dahin entstandene Kategoriensystem zu überarbeiten und mit dieser Revision des Kategoriensystems das gesamte Interviewmaterial zu kodieren. Sobald in diesem Schritt der Revision noch *neue* Kategorien gebildet wurden, wurde das gesamte Textmaterial erneut durchgegangen. Sollten die Lehrkräfte weitere relevante Einflüsse der Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen nennen, die keinem der theoretisch festgelegten Selektionskriterien zugeordnet werden konnten, wurden die genannten Aspekte ebenso induktiv zusammengefasst und die Selektionskriterien entsprechend erweitert. Auf die Möglichkeit einer solch induktiven Erweiterung weist Mayring (2016) explizit hin.

Tabelle 8

Inhaltsanalytische Auswertungskriterien der Interviews aus Studie I am Beispiel des Selektionskriteriums 'Arbeitssicherheit'

| inhaltsanalytisches Auswertungskriterium | Anwendung |
|---|--|
| Auswertungsfrage | Welche sicherheitsrelevanten Vorteile und Schwierigkeiten beschreiben Lehrkräfte beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischem Labormaterial? |
| Selektionskriterium | Sowohl positive als auch negative, aber begründete Aussagen der Lehrkräfte über die Einhaltung der Arbeitssicherheit im experimentellen Chemieunterricht, die sich mit einer der Materialeigenschaften begründen lassen, in denen sich alternative Experimentiermaterialien und klassische Labormaterialien voneinander unterscheiden. |
| Abstraktionsniveau | Die gebildeten Kategorien werden so formuliert, dass sie möglichst experimentübergreifend und möglichst auf das Experimentieren mit SchülerInnen allgemein angewandt werden können. |
| Kodiereinheit | Bedeutungstragende Einheiten innerhalb einer Aussage der Lehrkraft, die dem Selektionskriterium entsprechen. Einer Textstelle können dabei mehrere Kategorien zugeordnet werden. |
| Kontexteinheit | Zur Interpretation der Aussagen einer Lehrkraft können das gesamte Interviewtranskript sowie das Illustrationsmaterial, auf das die Lehrperson Bezug nimmt, herangezogen werden. |
| Auswertungseinheit | Das Kategoriensystem wird aus der Analyse von 13 Interviewtranskripten gebildet. |

Eine Besonderheit dieser Studie liegt nun darin, dass jede so gebildete Kategorie parallel einer *Materialeigenschaft* zugeordnet wurde, auf die sie zurückzuführen ist. Aufbauend auf Schritt II der Textanalyse (Klassifizierung) entstand auf diese Weise ein Kategoriensystem in Form einer Matrix, das durch jedes seiner Kategorien systematisch den Einfluss einer Materialeigenschaft auf eine fachdidaktische Anforderung an ein Experiment im Chemieunterricht beschreibt (s. z.B. Tabelle 10). So schreiben Bortz und Döring (2006) in Bezug auf eine solch qualitative Datenanalyse:

Will man einen komplexen Untersuchungsgegenstand theoretisch fassen, ist es wichtig, zunächst die Fülle des Materials möglichst unvoreingenommen zu ordnen, ohne dabei die Struktur des Gegenstandes zu zerstören oder zu verfälschen. Einen ersten Überblick vermitteln Inventare, die Auflistungen der wichtigen Aspekte oder Elemente des Untersuchungsgegenstandes enthalten. Hieraus wird man Typen oder Strukturen bilden, die die Anordnung der Einzelelemente und typische Merkmalskombinationen beschreiben. (S. 381)

4.4 Ergebnisse

In Abschnitt 4.4.1 werden zunächst diejenigen Eigenschaften von Experimentiermaterialien festgelegt, in denen sich alternative beziehungsweise klassische Materialien voneinander unterscheiden und von denen ausgehend Einflüsse auf fachdidaktische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht beschrieben werden. Im Anschluss erfolgt eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisse, wobei zunächst Einflüsse der Materialvariable auf organisatorische Anforderungen (Abschnitt 4.4.2) und anschließend Einflüsse auf experimentelle und affektive Anforderungen an gelungene Experimente dargestellt werden (Abschnitt 4.4.3). Nachdem die Reliabilität der Ergebnisse sichergestellt wurde (Abschnitt 4.4.4), wird die Perspektive von Lehrkräfte auf den Einsatz alternativer beziehungsweise klassischer Experimentiermaterialien und deren jeweilige Vor- und Nachteile für die Unterrichtspraxis zusammengefasst (Abschnitt 4.4.5).

4.4.1 Eigenschaften von Experimentiermaterialien

Auf Basis der Interviewdaten wurden zunächst zwölf Materialeigenschaften identifiziert, in denen sich alternative Experimentiermaterialien und klassische Labormaterialien voneinander unterscheiden und von denen Lehrkräfte einen Einfluss auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment im Chemieunterricht beschreiben (s. Forschungsfrage 1.1). Zum Zwecke der Validierung wurde eine Liste der so identifizierten Eigenschaften zwei Chemiedidaktik-ExpertInnen des Instituts für Didaktik der Chemie der Goethe-Universität Frankfurt/ Main vorgelegt und um Rückmeldung zur Verständlichkeit und Trennschärfe der Eigenschaftsdefinitionen gebeten. Das Ergebnis des abschließend geführten Aushandlungsprozesses zwischen den ExpertInnen ist in Tabelle 9 dargestellt; die Reihenfolge der gelisteten Eigenschaften begründet sich lediglich alphabetisch.

Tabelle 9

Materialeigenschaften, in deren Ausprägung sich alternative Experimentiermaterialien und klassische Labormaterialien voneinander unterscheiden

| Material-eigenschaft | Definition | Ausprägung und Beispiele |
|---------------------------------|---|---|
| Alltagsbezug | Zusammenhang zwischen dem Experimentiermaterial und deren Bekanntheit aus dem Alltag der SchülerInnen | Da alternative Experimentiermaterialien oftmals aus dem Haushalt stammen und Spritzen sowie Kanülen in der Regel von Arztbesuchen bekannt sind, ist der Alltagsbezug alternativer Experimentiermaterialien höher als der von klassischen Labormaterialien. |
| Beschaffungsform | Art und Weise der Materialbeschaffung, inklusive Bestell- und Liefermöglichkeiten | Alternative Experimentiermaterialien werden in der Regel auf anderen Wegen gesammelt, gekauft, bestellt und abgerechnet als klassisches Labormaterial, das als 'gängiges' Lehrmaterial gehandelt wird. |
| Chemikalienmenge | Die für das jeweilige Experiment benötigte Menge an Chemikalien und Substanzen | Die im Rahmen alternativer Experimentiermaterialien eingesetzte Chemikalienmenge ist in der Regel geringer als bei Experimenten, die mit klassischem Labormaterial realisiert werden. |
| Etabliertheit im Unterricht | Status quo der Etabliertheit der Materialien im Chemieunterricht der Schulen | Die reguläre Chemieausstattung einer Schule baut auf klassischen Labormaterialien auf; der Einsatz alternativer Experimentiermaterialien ist im Unterricht weniger etabliert. |
| Fachbezug Chemie | Zusammenhang zwischen dem Experimentiermaterial und dem Fach Chemie, dabei sowohl dem Schulfach als auch dem Industrie- und Wissenschaftszweig | Da klassische Labormaterialien explizit für chemische Experimente entwickelt wurden und von ExpertInnen im Feld verwendet werden, ist der Fachbezug klassischer Labormaterialien höher als der von alternativen Experimentiermaterialien, die aus anderen Kontexten entlehnt und teilweise für den experimentellen Kontext zweckentfremdet werden. |
| Funktionalität | Einfluss der funktionalen Beschaffenheit der Materialien auf den Experimentiervorgang, beispielsweise auf die Haptik, die Genauigkeit oder Einstellfunktionen | Beispiele für funktionale Unterschiede zwischen alternativen Experimentiermaterialien und ihrem jeweils klassischen Pendant sind die fehlende Flammenregulierbarkeit von Teelichtern und Mikrobrennern im Vergleich zu Gasbrennern, fehlende Skalen von Ampullen-/ Schnappdeckelgläsern im Vergleich zu Bechergläsern oder das Rußen von Teelichtern im Vergleich zu Gasbrennern. Auch unter die funktionale Beschaffenheit gefasst wird die Transparenz von Glas- im Vergleich zu Kunststoffmaterialien. |
| Gefahrenpotential | Gesamtheit der möglichen Gefahrenquellen für SchülerInnen sowie Auswirkungen im Falle einer Verletzung durch das Material | Im Allgemeinen wird Experimenten mit alternativen Experimentiermaterialien ein geringeres Gefahrenpotential zugeschrieben als Experimenten mit klassischem Labormaterial, z.B. durch den Einsatz von Teelichtern statt Gasbrennern, Kunststoff- statt Glasmaterialien oder in der Regel geringeren Chemikalienmengen. |
| Größe | Ausmaße der individuellen Teile, aus denen ein Versuchsaufbau aufgebaut ist | Das alternative Experimentiermaterial ist kleiner als das jeweils klassische Materialpendant. Darunter fällt beispielsweise auch die geringere Tiefe einer Blisterpackung im Vergleich zu klassischen Reagenz- oder Bechergläsern. |
| Größe des Versuchsaufbaus | Räumliche Ausmaße des gesamten Versuchsaufbaus | Der Versuchsaufbau aus alternativen Experimentiermaterialien ist kleiner als der Versuchsaufbau desselben Experiments aus klassischem Labormaterial. |
| Komplexität des Versuchsaufbaus | Anzahl benötigter Materialien für den Versuchsaufbau und die nötige Passgenauigkeit in der Zusammensetzung der Materialteile | Für klassische Versuchsaufbauten werden durch gegebenfalls notwendiges Stativmaterial in der Regel mehr Materialien eingesetzt, die oftmals durch Schliffe und Anschlüsse in ihrer Passform vorgefertigt sind. Dies gilt nicht absolut, sondern kann auf Ebene konkreter Experimente variieren. |
| Materialwert | Anfallende Materialkosten und der entsprechende Materialwert | In der Regel sind alternative Experimentiermaterialien preiswerter als ihr jeweils klassisches Pendant. |
| Robustheit | Stoßanfälligkeit und Widerstandsfähigkeit von Materialien gegenüber fehlerhaftem Gebrauch, Beständigkeit gegenüber Chemikalien, Wasserhärte oder Hitze | Im Allgemeinen werden alternative Experimentiermaterialien im Vergleich zu klassischem Labormaterial als robuster beschrieben (bspw. weniger anfällige Kunststoff- gegenüber klassischen Glasmaterialien). Betrachtet man die Stoßanfälligkeits mit Blick auf das Feingefühl von SchülerInnen, werden viele alternative Experimentiermaterialien hingegen als anfälliger beschrieben als klassisches Labormaterial. |

Mit Blick auf Forschungsfrage 1.2 folgt nun die Beschreibung der Ergebnisse zu Einflüssen der in Tabelle 9 identifizierten Eigenschaften von Experimentiermaterialien auf organisatorische Anforderungen an gelungene Experimente im Chemieunterricht. Die im Rahmen der theoretischen Erläuterung ausführlich beschriebenen Selektionskriterien, die bei der Analyse des Interviewmaterials angelegt wurden (s. Abschnitt 2.4.2), werden in Form von grauen Kästen in aller Kürze wiederholt aufgelistet.

4.4.2 Einfluss des Experimentiermaterials auf organisatorische Anforderungen an ein Schulexperiment

Selektionskriterien: Materialeigenschaft in Kombination mit positiven und negativen Aspekten
 - der Rahmenbedingungen (Materialverfügbarkeit, finanzielle Anschaffungsmöglichkeiten)
 - des Zeitaufwands
 - der Arbeitssicherheit

Die Ergebnisse der Qualitativen Inhaltsanalyse zum Einfluss des Experimentiermaterials auf organisatorische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht werden, wie in Abschnitt 4.3 erläutert, in Form eines Kategoriensystems dargestellt. Dieses Kategoriensystem ist in Tabelle 10 dargestellt und so aufgebaut, dass jede Zelle mit einer induktiv gebildeten Kategorie versehen ist, die den Einfluss der jeweiligen Materialeigenschaft auf eine der organisatorischen Anforderungen beschreibt. Im Rahmen dieser Ergebnisdarstellung werden die übergeordnet angelegten Selektionskriterien weiter ausdifferenziert; beispielsweise wurde das Kriterium der Rahmenbedingungen von den Lehrkräften im Interview weiter ausdifferenziert in Aspekte der Materialbeschaffung und Finanzierung, des Lagerplatzes, der Modularität, der Verfügbarkeit von Ersatzmaterial sowie der Entsorgung von Chemikalien. Über entsprechend in Klammern gesetzte Angaben innerhalb der Zellen des Kategoriensystems ist kenntlich gemacht, auf welchen Materialpool sich die jeweilige Kategorie bezieht. Bei der Bezeichnung der Kategorien wurde auf eine starke wörtliche Nähe zum Interviewmaterial Wert gelegt, unter anderem bezüglich des bereits erwähnten *Low-Cost*-Begriffs, den die Lehrkräfte primär für die Bezeichnung alternativer Experimentiermaterialien nutzten. Zur Kennzeichnung der Materialpools wurde daher entschieden, mit dem Kürzel „LC“ für Low-Cost- und damit alternatives Experimentiermaterial im Sinne der Arbeitsdefinition fortzufahren; „KL“ ist entsprechend als Abkürzung für klassisches Labormaterial zu verstehen. Da einige Kategorien zum Low-Cost-Materialpool innerhalb des Textmaterials lediglich im Kontext von Materialien der

Medizintechnik (MT) genannt wurden, wird auch das durch eine entsprechende Angabe in Klammern kenntlich gemacht.

Da mit dieser ersten Studie subjektive Meinungen der Lehrkräfte erhoben wurden, sei vorab ausdrücklich angemerkt, dass nicht *jede* Kategorie die Ansicht *aller* Lehrkräfte der Stichprobe gleichermaßen widerspiegelt. Für ein genaueres Verständnis der Ergebnisse dient daher die anschließende Beschreibung des Kategoriensystems, die zur Erläuterung sowohl Äußerungskontexte als auch Originalzitate aus den Interviewtranskripten integriert.

Tabelle 10 *Ergebnisdarstellung Lehrerinterviews: Einfluss des Experimentiermaterials auf organisatorische Anforderungen an ein Experiment*

| | Rahmenbedingungen | | | Zeitaufwand | | | Arbeitsicherheit | |
|---------------------------------|--|---|---|----------------------------|--|--|---|--|
| | Materiалbeschaffung und Finanzierung | Lagerplatz | Modularität und Ersatzmaterial | Entsorgung von Chemikalien | Aufwand (Vor-/Nachbereitung) | zeitliche Organisation im Unterricht | | Sicherheit und sachgerechter Umgang |
| Alltagsbezug | | | | | | | Misbrauch/ herumalbern (LC) | |
| Beschaffungsform | Sponsoren, Förderanträge, Krankenhauszulieferer, Apotheken (MT) | Fehlender Zusatzlagerplatz (LC) | Einseitigkeit fertiger Sets (MT) | | Inspektionsaufwand: Kistenvollständigkeit (LC-Sets) privater Sammelaufwand (LC) Eigenbauaufwand (LC) | | | |
| | Abrechnungsschwierigkeiten (MT) | Unklarheiten bei der Lagerung; private Sammlung/ Schulsammlung (LC) | | | | | | |
| | kostspielige Fertig-Sets (MT) | | | | | | | |
| | Bastelfreude bei Lehrkraft nötig (LC) | | | | | | | |
| Chemikalienmenge | | | Abfallproduktion (LC < KL) | | zügigere Entsorgung (LC) | Reaktionszeiten (LC < KL) | Gefährdungsrisiko (LC < KL) | |
| Etabliertheit im Unterricht | Fortbildungs- und Erfahrungsbedarf (LC) | | | | | | | Unsicherheiten durch fehlende Fortbildung (LC) |
| | Skepsis bzgl. Ergebnisqualität (LC) | | | | | | | |
| | Altersabhängigkeit (LC) | | | | | | | |
| | kein Alternativen-Bedarf (LC) | | | | | | | |
| Fachbezug Chemie | fehlende 'Low-Cost-Lobby' (LC) | | | | | | | |
| Funktionalität | 'klassische Denke' ist hinderlich (LC) | | | | | | | |
| Gefahrenpotential | Zweifel an 'RISU-Konformität' (LC) | | | | | Reinigungsaufwand: Kunststoffspritzen/ Ruß der Mikrobrenner (LC) | | Stichverletzungen durch Kanülen (LC) Kerzen- < Bunsenbrenner Spielcharakter der Materialien (LC) geschlossenes, dosierbares Spritzensystem (MT) weniger Schnittverletzungen durch ausbleibenden Glasbruch (LC) |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Größe | | | | | Zetersparnis durch Mobilität (Kistenprinzip, LC) | Verfügbarkeit am Platz (Kistenprinzip, LC) | Stabilität (LC < KL) | |
| Größe des Versuchsaufbaus | | | | | | parallel experimentieren und protokollieren (LC) | Übersichtlichkeit des Geschehens (LC) | |
| Komplexität des Versuchsaufbaus | | | | | | zügigeres Auf- und Abbauen (LC) | | |
| Materialwert | finanzielle Entlastung (Kunststoffspritzen) | | Ersatzmaterial vorhanden; hohe Stückzahl (Kunststoffspritzen) | | zügiger Austausch; hohe Stückzahl (Kunststoffspritzen) keine Wartung nötig (Kunststoffspritzen) | zügiger Austausch; hohe Stückzahl (Kunststoffspritzen) | wenig umsichtiger Umgang/ hoher Verschleiß (LC) | |
| | geringere Anfälligkeit der Kunststoffspritzen (Glasbruch/ kalkhaltiges Wasser/ Einfetten entfällt) | | | | | | kein Glasbruch (LC) | |

Anmerkung. Die Klammer gibt an, auf welchen Materialpool sich die jeweilige Kategorie bezieht (LC = Low-Cost-Material, KL = klassisches Labormaterial, MT = medizintechnisches Material); Ver- gleichszeichen sind entsprechend als größer bzw. kleiner zu interpretieren.

Beschreibung des Kategoriensystems

Das Kategoriensystem in Tabelle 10 zeigt, dass Lehrkräfte, ausgehend von allen zwölf Materialeigenschaften, in denen sich alternative und klassische Experimentiermaterialien voneinander unterscheiden, einen Einfluss auf organisatorische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht beschreiben. Im Folgenden werden die jeweiligen Kategorien näher erläutert, wobei zunächst auf positive und anschließend auf negative Einflüsse alternativer Experimentiermaterialien auf die Organisation von Experimenten im Unterricht eingegangen wird, dabei stets im Vergleich zu klassischem Labormaterial. Zur besseren Orientierung zwischen den Ergebnissen aus Tabelle 10 und der nachfolgenden Beschreibung, werden die induktiven Kategorien im folgenden Fließtext kursiv hervorgehoben. Dabei kann die Benennung einer Kategorie in Tabelle 10 von derjenigen im Text geringfügig abweichen, sofern sie grammatikalisch der Satzstruktur angepasst werden musste.

Rahmenbedingungen, Zeitaufwand, Arbeitssicherheit – Vorteile alternativer Experimentiermaterialien

Im Zusammenhang mit der im Allgemeinen geringeren Größe alternativer Experimentiermaterialien thematisieren die Lehrkräfte das im Vergleich zu klassischem Labormaterial potentiell eher umsetzbare *Kistenprinzip*. Positiv hervorgehoben wird die dadurch gesteigerte räumliche *Mobilität* für Lehrkräfte sowie eine *Zeitersparnis im Unterricht* selbst, da die unmittelbare Verfügbarkeit der Materialien am Platz den SchülerInnen einen zügigen Experimentierbeginn ermöglicht. Diese *Zeitersparnis* wird dadurch ausgebaut, dass alternative Versuchsaufbauten meist ohne Stativmaterial auskommen und sich entsprechend *zügiger auf- und abbauen* lassen. Außerdem benötigt ein in der Regel kleinerer Versuchsaufbau aus alternativen Materialien insgesamt weniger Arbeitsfläche als die klassische Experimentvariante, sodass *parallel experimentiert und* direkt von allen SchülerInnen einer Gruppe *protokolliert* werden kann. Für sich selbst sehen Lehrkräfte in dem kleineren Versuchsaufbau außerdem die Chance einer besseren *Übersichtlichkeit über das Experimentiergeschehen*. So minimiert die – je nach Situation abzuwägende – Möglichkeit des Experimentierens im Sitzen in Kombination mit einem potentiell umsetzbaren Kistenprinzip die Bewegung und Unruhe im Fachraum:

Also was man eigentlich nicht propagieren sollte, aber das Experimentieren im Sitzen ist durchaus machbar und [...] wir haben ja auch nach wie vor so riesen Klassen, 30 Schüler, und dann sind unsere Fachräume räumlich beengt und wenn die alle aufstehen

und rumlaufen puh, also da braucht man schon innerlich ziemlich viel Ruhe und Gelassenheit und Vertrauen in die Schüler. Aber wenn ich sehe ‘ok die sitzen, es ist übersichtlich was sie da vor sich haben und es ist alles ohne Probleme darstellbar’, das ist auch noch bestechend. (Interview 11)¹¹

Die gleichzeitige *Ansatzminimierung* bedeutet neben *verkürzten Reaktionszeiten* und einer *weniger aufwendigen Entsorgung* außerdem eine Steigerung der Arbeitssicherheit beim Experimentieren. Mit Blick auf das Gefahrenpotential von Experimentiermaterialien merken einige Lehrkräfte außerdem den Einsatz von *Teelichtern statt Bunsenbrennern* als sinnvoll bis wünschenswert an, sofern experimentierschwache SchülerInnen und/oder Klassen mit unruhigem, beziehungsweise auffallend risikofreudigem Experimentierverhalten unterrichtet werden. Wiederum schülerübergreifend wird vor allem die *Robustheit von Kunststoffspritzen* als merklicher Gewinn gegenüber im Schulalltag oft als beeinträchtigt bis defekt beschriebenen Kolbenprobern, Büretten und Peleusbällen betont. In der Anschaffung geeigneter Spritzen sehen die Lehrkräfte keinen Zusatz, sondern einen tatsächlichen Ersatz für entsprechend klassisches Labormaterial. Zum einen wird die Gefahr des Glasbruchs vermieden, außerdem stellen preisgünstige Kunststoffspritzen eine *finanziellen Entlastung* für Schulen dar und ermöglichen bei hoher Stückzahl zusätzlich einen *zügigen Austausch* beschädigter Kunststoffspritzen als direkte Reaktion im Unterricht oder in dessen Vor- und Nachbereitung:

Die Büretten, ständig laufen sie nicht oder sie sind verstopft, dann ist es umständlich die auszuwaschen und das [Kontext: Insulinspritze] finde ich genial. [...] Ich muss es nur einmal sauber machen und mich nur einmal drum kümmern, ob es alles läuft und ja, ne’ Spritze hab’ ich notfalls, wenn’s gar nicht geht, weggeworfen und ruckzuck neue gekauft. (Interview 2)

Im Rahmen von Demonstrationsexperimenten mit Gasen, beispielsweise der Chlorgas-synthese oder Experimenten mit Brom, heben die Lehrkräfte außerdem das im Gegensatz zu klassischen Gasentwicklern *besser dosierbare Spritzensystem* hervor, auch mit Blick auf die sichere Aufbewahrung möglicher Restgas-Volumina.

¹¹ Für diese Arbeit wurden die Originalzitate zur Erleichterung des Leseflusses sprachlich minimal bereinigt, vor allem durch Streichung von Wortdopplungen oder Füllwörtern. Auslassungen in den Zitaten werden der Übersichtlichkeit halber hier in Klammern [...] angegeben.

Zur Visualisierung der beschriebenen Zusammenhänge werden die Ergebnisse in Abbildung 6 zusammengefasst, wobei diese grafische Darstellung im Vergleich zu Tabelle 10 nicht mehr zwischen den Materialeigenschaften differenziert, auf denen die jeweilige Kategorie fußt. Für diese grafische Darstellung der Kategorien wurde eine QDA-Software verwendet (Qualitative-Daten-Analyse), die die sogenannte *Nähe* von Kategorien ermittelt. Dabei identifiziert die Software diejenigen Kategorien, die innerhalb der vorliegenden Interviewtranskripte jeweils derselben Textstelle zugeordnet oder im Text in nächster Nähe zueinander kodiert wurden. Praktisch bedeutet dies, dass die Software diejenigen Kategorien identifiziert, die innerhalb *einer* Aussage einer Lehrkraft kodiert wurden. Für die Interpretation des Textmaterials kann davon ausgegangen werden, dass zwischen diesen nah beieinander kodierten Kategorien eine inhaltlich bedeutsame Zusammengehörigkeit besteht. Diese Zusammengehörigkeit wird in Abbildung 6 durch Verbindungslinien zwischen den entsprechenden Kategorien kenntlich gemacht, beispielsweise wird *kein Glasbruch* häufig in Kombination mit der Kategorie *weniger Schnittverletzungen* kodiert. Daraus resultiert wiederum ein Netz aus Kategorien, das organisatorische Vorteile alternativer Experimentiermaterialien zusammengefasst abbildet. Dabei zu erkennen ist, dass sich die meisten Kategorien auf Vorteile alternativer Experimentiermaterialien bezüglich der Anforderung des Zeitaufwands und der Arbeitssicherheit beim Experimentieren im Chemieunterricht beziehen. Diejenigen Kategorien, die sich dabei explizit auf den Einsatz von Kunststoffspritzen beziehen, sind farblich markiert.

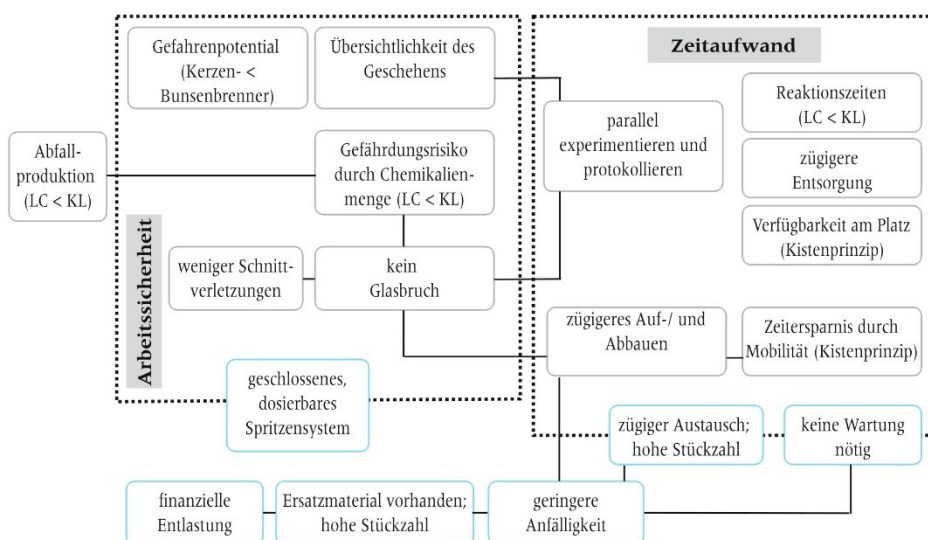


Abbildung 6. Positive Einflüsse alternativer Experimentiermaterialien auf organisatorische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht.

*Rahmenbedingungen, Zeitaufwand, Arbeitssicherheit –
Nachteile alternativer Experimentiermaterialien*

Auch die Ergebnisse zu Schwierigkeiten alternativer Experimentiermaterialien in Bezug auf organisatorische Anforderungen an Experimente wurden mit Hilfe einer QDA-Software analysiert und sind in Abbildung 7 über inhaltlich jeweils zusammengehörige Kategorien dargestellt.

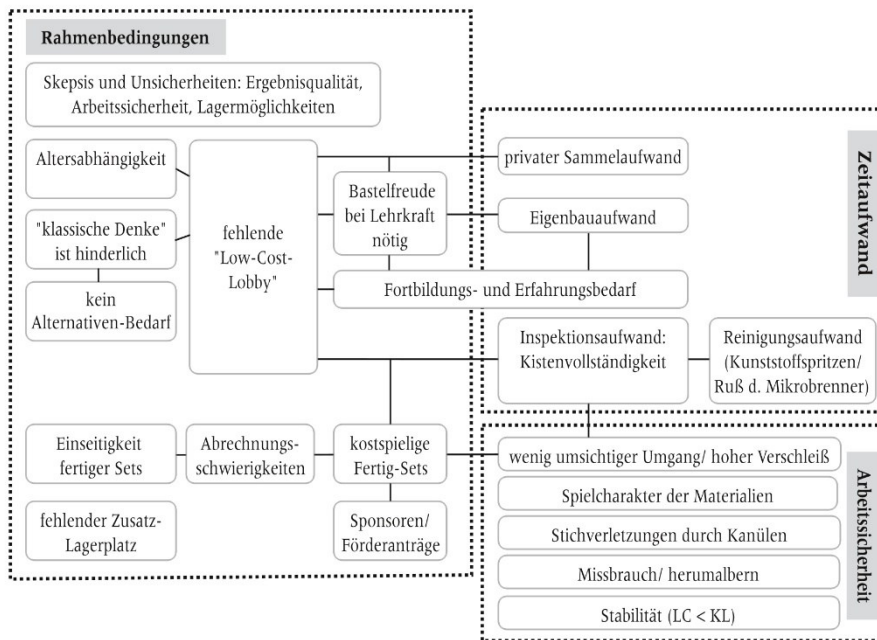


Abbildung 7. Organisatorische Schwierigkeiten beim Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im Chemieunterricht.

Mit Blick auf die Rahmenbedingungen an den Schulen der teilnehmenden Lehrkräfte sei darauf hingewiesen, dass keine der Lehrkräfte für ihre Schule materielle Engpässe oder unzureichend ausgestattete Fachräume und Chemiesammlungen beschreibt. Für einen Teil des alternativen Materialpools wird folglich *kein Alternativen-Bedarf* in dem Sinne gesehen, dass ohne dessen Anschaffung bestimmte Experimente nicht möglich sind. Vor allem Standardmaterialien wie Bunsenbrenner, Reagenz- und Bechergläser, Erlenmeyerkolben oder Materialien zu Experimenten der Elektrochemie werden als ausreichend vorhanden eingestuft und sind nach Aussagen der Lehrkräfte „schon Low-Cost genug“ (Interview 11). Entsprechende Alternativen zu klassischem Labormaterial werden von einigen Lehrkräften folglich als nicht notwendiger Zusatz zum gängigen Bestand bezeichnet:

Sollen wir jetzt unsere ganze Chemiesammlung und unsere ganzen Materialien-schränke leerräumen und Platz schaffen für das [Kontext: alternatives

Experimentiermaterial] und auf das andere [Kontext: klassisches Labormaterial] verzichten, obwohl wir es eigentlich haben? (Interview 4)

Eine Ausnahme stellen dabei die im vorherigen Abschnitt bereits erwähnten Kunststoffspritzen dar, wobei auch bei deren Etablierung organisatorische Hindernisse beschrieben werden. So merken teilnehmende Sammlungsleitungen *Abrechnungsschwierigkeiten* beim Kauf ‘nicht-regulärer’ Lehrmittel wie medizintechnischer Materialien an, die eine Kostenübernahme seitens der Schule und damit Anschaffung der Materialien an Schulen erschweren und gesonderte *Förderanträge* notwendig machen. Dabei gibt eine Lehrkraft an, über entsprechende Anträge mittlerweile sowohl im Schüler- als auch im Demonstrationsexperiment fast ausschließlich Materialien der Medizintechnik einzusetzen, dabei jedoch auf Großbestellungen von Einzelmaterialien (z.B. bei *Krankenhauszulieferern*) statt auf von Lehrmittelfirmen zum Kauf angebotene, fertig zusammengestellte Experimentier-Sets aus medizintechnischem Material zurückzugreifen. Schließlich werden käuflich zu erwerbende Experimentierkisten interviewübergreifend von den Lehrkräften als *zu einseitig* in der umsetzbaren Experimentvielfalt, vor allem aber als *zu kostspielig* beschrieben: „Das ist halt horrend teuer, also ganz ehrlich [...] was die Finanzierung angeht, da würden die [Kontext: die Sammlungsleitung] mich auslachen“ (Interview 11).¹²

Darüber hinaus wird in Bezug auf die Unterrichtsorganisation mit Hilfe von Experimentierkisten im Sinne der obigen Darstellung eine tatsächliche Zeiteinsparung in der Unterrichtsvor- und -nachbereitung angezweifelt. Eine im Einsatz von Experimentierkisten zur Medizintechnik vertraute Lehrkraft bestätigt diese Zweifel und merkt an, dass jegliches Kistenkonzept eine theoretisch „nette Sache“ (Interview 1) ist, in der Regel aber zu viel Zeit in die *Kontrolle der Vollständigkeit* der Materialkisten investiert werden muss, da durch den regulären Schulbetrieb sowie durch mäßig eingehaltene Verantwortlichkeiten und Regelungen innerhalb des Fachkollegiums eine nicht überschaubare „Materialfluktuation“ entsteht. Mit derselben Argumentation beschreibt eine weitere Lehrkraft jedes Kistenprinzip dieser Art als für den Schulalltag „unpraktisch“ (Interview 7) und nicht nachhaltig. Nach Aussagen der Lehrkräfte wird dies beim Einsatz alternativer Materialien noch verstärkt, da die SchülerInnen, ausgelöst durch den geringeren Materialwert und das geringere Gefahrenpotential, weniger umsichtig mit medizintechnischen Materialien

¹² Gemeint sind Experimentiersets, in denen das Material zu einem (oder mehreren) konkreten Experiment(en) durch einen Dienstleister zusammengestellt wird. *Nicht* gemeint sind im Unterricht eingesetzte Materialkisten, in denen jeweils *ein* konkretes Material (z.B. nur die entsprechenden Spritzen, nur Bechergläser o.ä.) zur Verfügung gestellt wird.

umgehen als sie es mit klassischem Labormaterial tun und im Zuge dessen ein starker *Materialverschleiß* an Spritzen, Kanülen und weiterem Equipment für Spritzenexperimente beobachtet wird. In Kombination mit *Reinigungsschwierigkeiten* verdreckter Spritzen sowie verrußten Gläsern bei Verwendung von Kerzen- oder Mikrobrennern wird, nach Aussagen der Lehrkräfte, das „Materialchaos“ komplettiert und der zeitliche Aufwand bei der Inspektion der Kistenvollständigkeit unverhältnismäßig gesteigert. Eine Lehrkraft fasst dies wie folgt zusammen:

Man hat dann doch auf Dauer den Überblick verloren, welche Kisten sind voll und welche nicht. Das hat sehr viel Arbeit gemacht immer zu gucken, wo ging was verloren, wo fehlen die Sachen UND natürlich ist der Verschleiß auch relativ hoch bei den Spritzen. [...] Und dann mal wieder alles austauschen, das fand' ich dann schon auch anstrengend. Und deswegen hab' ich die auch nicht so oft verwendet, also bis auf die Spezielsache Kohlenstoffdioxid-Gleichgewicht. [...] DA find ich dann wiederum die Schwierigkeit das Reinigen. Also sobald man 'ne Flüssigkeit da reingibt, [...] das ist schon unangenehm zu reinigen und dann: Wie trocknet man die? Und dann hat man sie doch nicht mehr im Kasten und dann beginnt das Chaos. Was natürlich nochmal potenziert wird, wenn mehrere Kollegen diese Kästen nutzen. Ich hatte das Glück, dass diese Kästen eigentlich keinen interessiert haben, dass ich der einzige war, der damit gearbeitet hat. Also wenn da noch andere Kollegen mit drin rumwurschteln und die das dann nicht ordentlichen machen [...], dann nervt man sich gegenseitig, dass dann wieder die Sachen fehlen. Also das stell' ich mir dann auch ziemlich anstrengend vor und für JEDEN Kollegen so einen Klassensatz zu beschaffen, ist dann doch schon ganz schön teuer, also ganz billig sind die ja nicht. (Interview 1)

Ob nun in Bezug auf die Anschaffung von medizintechnischem Material im Speziellen oder alternative Experimentiermaterialien im Allgemeinen, in jedem Fall benötigt es eine in den Interviews so bezeichnete *Low-Cost-Lobby* innerhalb des Fachkollegiums der jeweiligen Schule:

[...] man muss es dann auch zusammen packen, man muss sich zusammensetzen. [...] Deswegen ist es bis jetzt nicht passiert. (Interview 5)

Wie Abbildung 7 zu entnehmen ist, stehen eine Vielzahl von Argumenten in Zusammenhang mit dieser fehlenden „Lobby“. Dabei ist zu erkennen, dass die Lehrkräfte selbst eine gewisse Typenabhängigkeit bezüglich der Einstellung von Lehrkräften gegenüber alternativen Experimentiermaterialien und deren Etablierung im Chemieunterricht beschreiben. Zum einen muss man für viele Low-Cost-Ideen ein *Basteltyp* sein. So beschreiben die Lehrkräfte im Allgemeinen wenig Zeit – wie Muße – in Bezug auf ein *langwieriges, privates Ansammeln* umfunktionierter Alltagsmaterialien wie Blisterpackungen, Sektverschlüsse und Teelichthüllen. Die zu investierende Zeit in das eigene Zusammenstellen

von Low-Cost-Experimentierkisten, auch über Materialien der Medizintechnik hinaus, stellt in der Regel keine im Alltag einer Lehrkraft zu leistende *Zusatzarbeit* dar. Eine Lehrkraft fasst es zusammen als eine zu hohe „Anfangs-Aktivierungsenergie, die die wenigsten schaffen“ (Interview 1). Gleiches gilt für den Bau eigener Low-Cost-Apparaturen, exemplarisch angeführt werden Hofmannsche Zersetzungsapparate aus Kunststoffspritzen und Gartenschläuchen oder selbstgebaute Gasentwickler, ebenfalls realisiert mittels Kunststoffspritzen. Auch Lehrkräfte, die bereits entsprechende Fortbildungen besucht haben *und* sich selbst als Basteltyp bezeichnen, beschreiben den Nachbau solcher Apparaturen aufgrund *frustrierender Detailtreue* in vielen Fällen als fehlerbehaftet und zu zeitaufwendig:

- (i) Wenn ich jetzt anfangs meine Ärzte hier im Ort abzuklappern [...], dann krieg' ich die [Kontext: Kunststoffspritzen] ja sogar UMSONST, aber DANN ist das wieder SO viel Arbeit, dass das tatsächlich nur noch für Kollegen geht, die da richtig Lust dran haben an so Basteln. [...] Also die Hauptproblematik bei diesen ganzen Experimenten wird wahrscheinlich immer die Arbeitsintensität sein. Je weniger es kostet, desto mehr Arbeit macht es. [...] Ich finde, wenn man mal guckt, wie viel die eingesetzt werden, dann KANN es nicht so einfach sein. [...] Ich hab' auch überlegt, so Spritzen für hier jetzt anzuschaffen, weil hier ist relativ viel Geld vorhanden [...], aber mir war klar, [...] die Dinger stehen im Schrank und verstauben und die würde nie wieder jemand benutzen [...]. Es sind wirklich nur so ein paar Spezies, die, ich glaube, Lust zum Basteln haben [...]. Und auch an anderen Schulen oder wenn ich so rumhorche, also eigentlich benutzt Low-Cost niemand und ich glaub' tatsächlich, das liegt daran, dass es einfach mehr Arbeit ist als einfach die Sachen zu nutzen, die da sind. (Interview 1)
- (ii) Der Teufel steckt halt im Detail. [...] Ich hab' es dann irgendwann mehr oder weniger gefrustet gelassen, weil ich hab' keine Zeit dafür. [...] Sobald es dann ans Bohren, Kleben und sowas ging, das war dann ach [...]. Über so eine Art Bastelstunde wäre ich echt dankbar. (Interview 11)

Wie in der zuletzt zitierten Aussage angedeutet, weisen einige Lehrkräfte in Bezug auf die Etablierung alternativer Experimentiermaterialien auf ihren eigenen *Fortbildungs- und Erfahrungsbedarf* hin. Beispielsweise geben drei der befragten Lehrkräfte an, durch einen Vortrag externer Dienstleister auf Vorteile der Sprizentechnik aufmerksam geworden zu sein, diese aber aus Unklarheit ihrer konkreten Verwendungsmöglichkeiten nicht zum Einsatz kommen:

Wir haben die dann auch artig bestellt [...], aber so wie wir sie bestellt haben, so stehen sie im Schrank, ja? Wir haben uns damit nicht beschäftigt. (Interview 5)

Über die nötige Bastelfreude hinaus nennen die Lehrkräfte bezüglich der erwähnten Typenabhängigkeit außerdem eine Abhängigkeit zwischen der Etablierung alternativer Experimentiermaterialien und dem *Alter* sowie einer *klassischen Denke* von Lehrkräften, nach der nur klassisches Labormaterial als ‘richtiges’ Labormaterial angesehen wird:

- (i) [...] das denken vielleicht auch viele ältere Kollegen noch, deswegen ist das durchaus nicht so, dass alle Kollegen bereit sind, diese Medizintechnik auch einzusetzen. [...] Also es gibt auch Schulen, die sich dagegen aussprechen. (Interview 12)
- (ii) Das hat bei uns keiner gemacht bisher, weil, ja, das klassische Denken hier. (Interview 8)

Im Zuge dessen werden sowohl Materialien der Medizintechnik als auch (umfunktionierte) Alltagsmaterialien stellenweise als ‘Fummelkram’ eingestuft und sowohl gegenüber der Ergebnisqualität quantitativer Low-Cost-Experimente (z.B. bzgl. der Skalen-Genauigkeit von Kunststoffspritzen im Vergleich zu klassischem Labormaterial) sowie der ‘RiSU-Konformität’ selbstgebauter Low-Cost-Versuchsaufbauten *Skepsis* geäußert. Diese Skepsis bezieht sich auch auf das im vorherigen Abschnitt positiv hervorgehobene, *geschlossene Spritzensystem*, da einige der befragten Lehrkräfte der *Dichtheit* von Kunststoffspritzen, gerade im Rahmen von Demonstrationsexperimenten mit giftigen Gasen, nicht trauen und in diesem Kontext explizit *keinen Bedarf* sehen, das klassische Labormaterial zu ersetzen. Im Kontext von Schülerexperimenten und der Sicherheit beim Experimentieren bezieht sich die Skepsis bis Kritik der Lehrkräfte insbesondere auf die geringe Größe alternativer Materialien, die häufig in Kombination mit ihrer *geringen Stabilität* kodiert wird, primär in Bezug auf Ampullen- oder Schnappdeckelgläser, Mikro- oder Kerzenbrenner und Blister. Ebenfalls kritisch betrachtet wird der Einsatz von Kanülen. Lehrkräfte, die von einer beim Experimentieren sehr risikofreudigen Schülerschaft berichten, schließen den Einsatz von, auch abgestumpften, Kanülen in ihrem Unterricht gänzlich aus. Im Zuge dessen wird, wiederum schülerübergreifend, mehrfach die Problematik eines gewissen *Spielcharakters* alternativer Materialien kritisiert. Vor allem das im Vergleich zu klassischem Labormaterial geringere Gefahrenpotential und ihre Alltagsbekanntheit fordern nach Aussagen der Lehrkräfte einen *unsachgerechten Umgang bis Missbrauch* der Materialien sowie eine insgesamt weniger ernstgenommene Experimentiersituation heraus:

Also um es mal vorsichtig auszudrücken, also die belächeln das, ja? Die belächeln das und machen Quatsch. (Interview 6)

Diesbezüglich von den Lehrkräften in der Unterrichtspraxis beobachtete Situationen betreffen das gegenseitige Stechen mit Kanülen, die Verwendung von Kunststoffspritzen als Spritzgeschosse oder Finger, die zum Vergnügen durch Teelicht- oder Mikrobrenner-Flammen geführt werden.

4.4.3 Einfluss des Experimentiermaterials auf experimentelle und affektive Anforderungen an ein Schulexperiment

Selektionskriterien: Materialeigenschaft in Kombination mit positiven oder negativen Aspekten

- der Herausforderung von Versuchsaufbau und -durchführung
- der Durchschaubarkeit der Apparatur und einzelner Bestandteile
- der Gelungenheit des Experiments
- des Autonomieerlebens der SchülerInnen beim Experimentieren
- des emotionalen Erlebens der SchülerInnen beim Experimentieren

Aufgrund ihres inhaltlichen Zusammenhangs werden die Ergebnisse zum Einfluss des Experimentiermaterials auf experimentelle und affektive Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht im Folgenden gemeinsam beschrieben; beispielsweise hängt die Gelungenheit des Experiments als experimentelle Anforderung unmittelbar mit dem Generieren von Motivation als affektive Anforderung an ein gelungenes Experiment zusammen. Weitere Zusammenhänge wurden in der theoretischen Herleitung bereits ausführlich beschrieben (s. Abschnitt 2.4.2.2).

Wie schon in der vorherigen Auswertung, werden die aus der Theorie abgeleiteten Selektionskriterien in diejenigen Unterpunkte differenziert, die die Lehrkräfte konkret durch das Material beeinflusst sehen (s. Tabelle 11). Dabei ist anzumerken, dass die ursprünglich an das Interviewmaterial angelegten Selektionskriterien (s. oben) im Rahmen der Textanalyse um zwei Kriterien erweitert wurden: Zum einen wird die *Authentizität* von Schulexperimenten als eine durch das Material beeinflusste Anforderung an Schulexperimente in die Textanalyse aufgenommen und im Rahmen der Beschreibung des Kategoriensystems näher erläutert. Da die Datenauswertung eine auffallend häufige Überschneidung zwischen der Materialeigenschaft „Fachbezug“ und theoretisch beschriebenen Zielen experimentellen Arbeitens zeigt, werden außerdem Kategorien zum Einfluss des Experimentiermaterials auf konkrete *Ziele des experimentellen Arbeitens* in die Ergebnisdarstellung aufgenommen. Da diese jedoch nicht unmittelbar zur Beantwortung von Forschungsfrage F 1 beitragen, werden sie gesondert in Tabelle 12 dargestellt. Im Vergleich zu Einflüssen des Experimentiermaterials auf organisatorische Anforderungen ist es, aufgrund der starken inhaltlichen Verzweigung der Anforderungen und somit Kategorien, im Folgenden außerdem nicht mehr zielführend, die Ergebnisse grafisch über inhaltlich zusammengehörige Kategorien abzubilden.

ergänzte Selektionskriterien: Materialeigenschaft in Kombination mit positiven oder negativen Aspekten

- der wahrgenommenen Authentizität beim Experimentieren
- in Bezug auf Ziele des experimentellen Arbeitens

| | Grad der Herausforderung | | Durchschaubarkeit des Gesamtversuchsaufbaus und einzelner Bestandteile | | | Gelingenheit | |
|---------------------------------|---|--|--|---|---|--|------------------------------|
| | motorische Handhabung | kognitive Aktivierung | Bedienung von Einzelmaterialien | Funktionalität des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile | kognitiver Fokus | Beobachtbarkeit | Ergebnisqualität |
| Alltagsbezug | | (potenziell) empfundene Banalität (LC) | Intuitivität der Bedienung (LC) | erleichtertes Verständnis (alltagsbekannte Materialbegriffe, LC) erleichterte Durchschaubarkeit (alltagsbekannte Funktion, LC) | Fokuslenkung auf das Phänomen (alltagsbekannte Funktion, LC) | | |
| Beschaffungsform | - | - | - | - | - | - | - |
| Chemikalienmenge | | | | | | qualitative Schülerexperimente* fordert detaillierteres Hinschauen (LC) schnellere Wiederholbarkeit (LC) | |
| Etabliertheit im Unterricht | - | - | - | - | - | Reichweite der Sichtbarkeit von Demo-Experimenten (KL > LC) einprägsamere Effekte (Demo-Experimente, KL) | |
| Fachbezug Chemie | - | - | - | - | - | | |
| Funktionalität | | | Komplexität der Bedienung (KL) keine Regulierbarkeit (Teelicht/ Mikrobrenner) | eindeutige Zweckbezogenheit (KL) erleichterte Durchschaubarkeit (alltagsbekannte Funktion, LC) | Fokuslenkung auf das Phänomen (alltagsbekannte Funktion, LC) | abweichende Farbindrücke (LC, Kunststoff statt Glas) | quantitative Messergebnisse* |
| Gefahrenpotential | | | | | Fokuslenkung auf das Phänomen (Gefahrenreduktion, LC) | | |
| Größe | griffiger, stabiler (KL) (problematische) Feinmotorik nötig (LC) | | | | | | |
| Größe des Versuchsaufbaus | gesteigerter Anspruch durch Stativ- und Glasmaterial (KL) | | | erleichterte Durchschaubarkeit (Verzicht auf Stativmaterial, LC) | | näheres Heranreten möglich (LC) | |
| Komplexität des Versuchsaufbaus | klares Stecksystem durch Schlitze und Anschlüsse (Demo-Experimente, KL) | gesteigerter Grad der Herausforderung durch Stativ- und Glasmaterial (KL) | | Demo-Experimente: Übersichtlichkeit von Glasapparaturen (KL) // hohe Materialdichte von Spritzenexperimenten (LC) | Fokuslenkung auf das Phänomen (Verzicht auf Stativmaterial, LC) | Materialdichte schränkt Beobachtbarkeit von Demo-Experimenten ein (LC) | |
| Materialwert | | Wert bestimmt Grad der Herausforderung beim Experimentieren Aktivierung aller SchülerInnen (kleinere Gruppengrößen, LC) | | | | gleiche Beobachtungsmöglichkeiten für alle SchülerInnen (kleinere Gruppengrößen, LC) | |
| Robustheit | leichtere Handhabung (Kunststoffspritzen im Vgl. zu Glasmaterialien) | Grad der Herausforderung beim Experimentieren | | | | | |

Tabelle 11 Ergebnisdarstellung Lehrerinterviews: Einfluss des Experimentiermaterials auf experimentelle und affektive Anforderungen an ein Experiment

Anmerkung. Die Klammer gibt an, auf welchen Materialpool sich die Kategorie bezieht (LC = Low-Cost-Material, KL = klassisches Labormaterial; *Kategorien, zu denen explizit kein Einflus des Experimentiermaterials beschrieben wird.

Fortsetzung Tabelle 11
 Ergebnisdarstellung
 Lehrerinterviews: Einfluss des Experimentiermaterials auf experimentelle und affektive Anforderungen an ein Experiment

Anmerkung: Die Klammer gibt an, auf welchen Materialpool sich die Kategorie bezieht (LC = Low-Cost-Material, KL = klassisches Labormaterial; *Kategorien, zu denen explizit kein Einfluss des Experimentiermaterials beschrieben wird.

| | Autonomieerleben | | Emotionale Erlebenszustände d. SchülerInnen | | Zusatz | |
|---------------------------------|--|--|---|--|---|---|
| | Offenheit und Kreativität | Emotionen | Experimentierzugang durch Alltagsbekanntheit (LC) | Experimentierzugang durch Zugang zum Lerninhalt (LC) | Authentizität | |
| Alltagsbezug | kreativeres, selbständigeres Experimentieren (alltagsbekannte Funktion, LC) | | Experimentierzugang durch Alltagsbekanntheit (LC) | Zugang zum Lerninhalt (LC) | | |
| Beschaffungsform | - | - | - | - | - | - |
| Chemikalienmenge | - | - | - | - | - | - |
| Etabliertheit im Unterricht | - | - | - | - | - | - |
| Fachbezug Chemie | | Gefühl von Stolz und Aufwertung durch professionelles Labormaterial (KL) | | | Labormaterialien entsprechen einer Erwartungshaltung an Chemie (KL) | |
| Funktionalität | - | - | - | - | - | - |
| Gefahrenpotential | kreativeres, selbständigeres Experimentieren (LC) | empfundene Kompetenz-Herabstufung (LC) | gesteigertes Vertrauen in eigene Fähigkeiten/ geringere Hemmschwelle (LC) | | | |
| | Öffnung der Experimentiersituation durch weniger angespannte Lehrperson (LC) | | | | | |
| Größe | vielfältigere Materialbereitstellung (Kistenprinzip, LC) | | | | | |
| Größe des Versuchsaufbaus | - | - | - | - | - | - |
| Komplexität des Versuchsaufbaus | kreativere Aufbauten (fehlende Schlift- und Anschlussvorgabe, LC) | Interesse/ Neugier weckende Versuchsaufbauten (Demo-Experimente, KL) | | | | |
| | Kreativitätsanspruch und Umdenken ist durch Zweckenfremdung und Pass-Üngenaugigkeit zu hoch (LC) | | | | | |
| Materialwert | | Wert bestimmt Anspannung beim Experimentieren | potentielle Schadenshöhe bestimmt Hemmschwelle beim Experimentieren | | empfundene Behelfsmäßigkeit (LC) statt Fachmaterial (KL) | |
| Robustheit | | Fehleranfälligkeit bestimmt Anspannung beim Experimentieren | Experimentierzugang durch geringere Fehleranfälligkeit (LC) | | | |

Ziele experimentellen Arbeitens

| | fachlich | | | psychologisch | pädagogisch |
|---------------------------------|--|--|---|--|--|
| | | | | | |
| Alltagsbezug | - | - | - | - | - |
| Beschaffungsform | - | - | - | - | - |
| Chemikalienmenge | - | - | - | - | - |
| Etabliertheit im Unterricht | - | - | - | - | - |
| Fachbezug Chemie | Materialentwicklungen der Chemie als Kulturgeschichte aufzeigen (KL) | Kennenlernen und Benennen von Laborgerät als Teil nat. Grundbildung (KL) | Arbeits-techniken und Verfahren als Charakteristika des Fachs kennenlernen (KL) | Berufsorientierung/-vorbereitung (KL) Einblick in die Realität von Forschung und Industrie (KL) | Begeisterung bis Interesse auslösen (KL) Experimentier-ängste nehmen (KL) |
| Funktionalität | - | - | - | - | - |
| Gefahrenpotential | - | - | - | - | - |
| Größe | Schulung der Femmotonik (LC) | - | - | - | Materialverantwortlichkeit (Kistenprinzip, LC) |
| Größe des Versuchsaufbaus | - | - | - | - | - |
| Komplexität des Versuchsaufbaus | - | - | - | - | - |
| Materialwert | - | - | - | - | - |
| Robustheit | - | - | - | - | - |

Tabelle 12 Ergebnisdarstellung Lehrerinterviews: Einfluss des Experimentiermaterials auf Ziele experimentellen Arbeitens

Anmerkung. Die Klammer gibt an, auf welchen Materialpool sich die Kategorie bezieht (LC = Low-Cost-Material, KL = klassisches Labormaterial).

Beschreibung des Kategoriensystems

Im Folgenden werden die Kategorien aus den Tabellen 11 und 12 näher beschrieben. Wie bereits im vorherigen Abschnitt, werden die Kategorien dabei im Fließtext kursiv hervorgehoben, ihre Bezeichnung in den Tabellen kann aus grammatikalischen Gründen auch hier leicht von der Benennung im Text abweichen. Die Ergebnisdarstellung ist entsprechend der gewählten Selektionskriterien in Abschnitte gegliedert.

Der Einfluss des Experimentiermaterials auf den Grad der Herausforderung beim Experimentieren

Bezüglich eines Einflusses des Experimentiermaterials auf den von SchülerInnen empfundenen Grad der Herausforderung beim Experimentieren beschreiben die befragten Lehrkräfte sowohl einen Einfluss auf die wahrgenommene (i) motorische sowie (ii) kognitive Herausforderung. Auf beide Aspekte wird nacheinander eingegangen:

(i) Einfluss des Experimentiermaterials auf die motorische Herausforderung beim Experimentieren: Die Lehrkräfte beschreiben Schwierigkeiten bezüglich der motorischen Fähigkeiten von SchülerInnen und der Handhabung einzelner alternativer Materialien. So wird aufgrund der Kombination aus geringer Größe und potentieller Instabilität einiger alternativer Experimentiermaterialien auf eine stellenweise *problematische Feinmotorik* von SchülerInnen hingewiesen; größere Experimentiermaterialien sind für SchülerInnen oftmals besser, da *griffiger und stabiler* zu handhaben. Konkret verglichen werden größere, stabilere Bechergläser, Erlenmeyerkolben, Bunsenbrenner, Elektroden oder Reagenzgläser im Reagenzglasständer mit leicht umzustoßenden Ampullen- oder Schnappdeckelgläschen, Mikrobrennern, Bleistiftminen und Blisterpackungen. Lediglich die Handhabung von Kunststoffspritzen wird motorisch als insgesamt weniger herausfordernd beurteilt als der Umgang mit entsprechendem klassischem Labormaterial aus Glas, da Spritzen sich nicht durch Standfestigkeit auszeichnen müssen und darüber hinaus weniger fehler- und stoßanfällig sind. Insbesondere hervorgehoben wird der Vergleich zu anfälligen Büretten oder in der Handhabung zwar ähnlichen, aber bruchanfälligen Kolbenprobern. Nichtsdestotrotz weisen Lehrkräfte, die einen regelmäßigen Einsatz von Kunststoffspritzen im Unterricht angeben, darauf hin, dass auch für die Handhabung von Spritzen experimentelles Geschick und „viel Gefühl“ (Interview 11) notwendig ist, da das Aufziehen von Flüssigkeiten oder Gasen oftmals schwergängiger ist als mit entsprechenden Glasmaterialien. Interviewübergreifend als *motorisch anspruchsvoller* werden

klassische Labormaterialien indes eingestuft, sobald die Komplexität des Versuchsaufbaus zunimmt, indem Glas- und Stativmaterialien kombiniert werden. So beobachten die Lehrkräfte ein oftmals fehlendes Gespür von SchülerInnen für spannungsfreie Versuchsaufbauten. Diese gesteigerte Komplexität für SchülerInnen wird, nach Aussagen der Lehrkräfte, auch durch Schliffe, passgenaue Anschlüsse und *klare Stecksysteme* für den Zusammenbau klassischer Apparaturteile nicht geringer.

(ii) Einfluss des Experimentiermaterials auf die kognitive Herausforderung beim

Experimentieren: Das Experimentieren mit klassischem Labormaterial wird als *kognitiv herausfordernder* beurteilt, hier im Sinne der von den SchülerInnen geforderten Aufmerksamkeit beim Experimentieren. Dies führen die Lehrkräfte auf eine von den SchülerInnen stets vorgenommene Folgenabschätzung aus der Robustheit von Experimentiermaterialien und dem potentiellen Wertverlust bei Beschädigung zurück, deren Resultat maßgeblich ihren Umgang mit den Experimentiermaterialien definiert: „Was passiert, wenn?“ (Interview 8). Folgender Zusammenhang wird festgehalten: Je anfälliger die Materialien gegenüber fehlerhaftem Gebrauch oder Glasbruch und je höher der Materialwert und die potentielle Schadenshöhe, desto stärker ist die von SchülerInnen empfundene Herausforderung beim Experimentieren, das heißt, desto mehr Aufmerksamkeit verlangt das Experimentieren von den SchülerInnen. Da klassisches Labormaterial in der Regel weniger robust ist gegenüber Fehlern und Glasbruch und in der Regel teurer ist als alternatives Material, fällt diese Folgenabschätzung beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial höher aus. Teilweise geht die Einschätzung der Lehrkräfte dabei so weit, dass das Experimentieren mit alternativen Materialien von SchülerInnen als (zu) *banal* empfunden wird oder potentiell als (zu) banal empfunden werden kann.

Als Vorteil alternativer Experimentiermaterialien bezüglich der von den SchülerInnen geforderten Aufmerksamkeit wird gesehen, dass durch den Einsatz kostengünstiger alternativer Experimentiermaterialien grundlegend mehr Material angeschafft werden kann, dadurch *kleinere Gruppengrößen* gebildet werden können und somit, eher als mit klassischem Labormaterial, die Möglichkeit besteht, Aufgaben gleichmäßiger zu verteilen und damit alle statt nur einzelne SchülerInnen einer Gruppe am Experimentiergeschehen zu beteiligen und kognitiv zu aktivieren. Ein von den Lehrkräften hervorgehobenes Beispiel ist die sowohl chemikalien- als auch zeiteffizientere Low-Cost-Titration mit 1 ml-

Kunststoffspritzen, die in Partner- oder sogar Einzelarbeit statt der sonst gängigen Gruppenarbeit durchgeführt werden kann.

*Der Einfluss des Experimentiermaterials auf
die Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile*

Lehrkräfte beschreiben einen Einfluss des Experimentiermaterials auf die (i) Durchschaubarkeit der Bedienung von Einzelmaterialien, (ii) die Durchschaubarkeit der Funktionalität des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile sowie auf den (iii) kognitiven Fokus von SchülerInnen beim Experimentieren. Alle drei Aspekte werden im Folgenden näher erläutert.

(i) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit der Bedienung von Einzelmaterialien: Mit Blick auf die Bedienung einzelner Materialien wird interviewübergreifend ein Gegensatz aus der *komplexen (-eren) Bedienung* klassischer Labormaterialien und der *intuitiven Bedienung* vieler, in ihrer Funktionsweise bekannter Alltagsmaterialien aus dem alternativen Materialpool hervorgehoben: „Gegenstände, von denen ich die Funktion kenne, dann weiß ich auch, wie ich sie einsetze“ (Interview 3). Als Beispiele ziehen Lehrkräfte klassische Spannungsquellen und Bunsenbrenner heran, die aufgrund verschiedener Anschlüsse, Stellschrauben und einzuhaltender Bedienreihenfolge komplexer zu bedienen sind als handelsübliche Blockbatterien, Mikro- oder Kerzenbrenner. Auch Kunststoffspritzen zum Aufziehen von Flüssigkeiten oder Gasen werden als intuitiv zu verwenden beschrieben, insbesondere im Vergleich zur komplexeren Bedienung von Peleusbällen oder dem Befüllen von Büretten. Sobald hingegen mehrere Kunststoffspritzen über medizinische Dreiwegehänge oder ähnliches Zubehör zusammengesetzt werden müssen, wird auch ihr Einsatz als nicht mehr intuitiv beschrieben, sondern stattdessen ein regelmäßiger Einsatz der Materialien im Unterricht für nötig erachtet.

(ii) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit der Funktionalität des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile: Der beschriebene Vorteil der *Alltags-* und damit oftmals *Funktionsbekanntheit* vieler alternativer Experimentiermaterialien wird nicht nur mit Blick auf ihre Bedienung gesehen, sondern auch mit Blick auf die Durchschaubarkeit ihrer Funktion, sowohl als Einzelmaterialien als auch im Rahmen einer Versuchsapparatur. Beispielsweise sind Kunststoffspritzen und Kanülen als in ihrer Funktion bekannte Materialien zum dosierten Zulauf und Transport von Flüssigkeiten für

SchülerInnen, nach Aussagen der Lehrkräfte, durchschaubarer als klassische Tropftrichter mit Gewindehahn und eventuellem Druckausgleich. Diese vereinfachte Durchschaubarkeit der Funktion von Einzelmaterialien erleichtert im Umkehrschluss auch das Verständnis für deren Funktionalität innerhalb eines Gesamtversuchsaufbaus. So ist auch die Funktion einer Haushalts-Blockbatterie oder das Leuchten einer Mini-Diode intuitiver zu durchschauen als klassische Spannungsquellen und Verbraucher, wobei Lehrkräfte in ihrer Argumentation auf Erfahrungen aus dem Physikunterricht zurückgreifen:

Letztendlich ist erstmal die Blockbatterie auch eine Art von Black-Box, aber da wissen sie alle, was die kann. Insofern stelle ich mir das schon so vor, dass das vorteilhaft sein könnte [...] was das Verständnis angeht [...]. Also das ist meine Erfahrung jetzt tatsächlich aus der Physik und das lässt sich sicherlich an der Stelle übertragen. (Interview 10)

Andere Lehrkräfte hingegen argumentieren, dass gerade die *Zweckbezogenheit* klassischer Labormaterialien ihre Funktion offenlegt und für SchülerInnen nachvollziehbarer macht, indem mehr ‘Informationsgehalt’ durch die Materialien selbst vermittelt wird. Exemplarisch genannt wird die Kühlfunktion eines Liebigkühlers im Vergleich zu der eines einfachen Silikonschlauchs (s. Abbildung 1), der Ausschlag der Skala auf einer Spannungsquelle im Vergleich zu handelsüblichen Blockbatterien oder die Genauigkeit einer Büretten-Skala und des Ablesens über den Meniskus im Vergleich zur Graduierung von Kunststoffspritzen. Insgesamt wird dabei von einem ‘Vertrauensvorschuss’ in die Funktionalität, auch Genauigkeit, von Fachmaterialien und somit Eignung für das Experimentieren im Unterricht gesprochen:

Bei einer Batterie, da gibt man halt irgendwie Strom drauf. Also da sieht man nicht wie viel Strom entnommen wird. Wenn ich einen richtigen Stromwürfel hab’, da hat man dann immer eine Skala, wo man halt was sehen kann an Menge, die da entnommen wird. Insgesamt bei den großen Experimenten würde ich sagen, dass es für die Schüler leichter nachzuvollziehen ist, weil das ganz einfach Fachgeräte sind. Da gibt es schonmal einen Vertrauensvorschuss, die sind ja immer extra dafür gemacht irgendwie, das gewähren die einem ja auch. (Interview 13)

Darüber hinaus beschreiben Lehrkräfte bezüglich der Durchschaubarkeit eines Versuchsaufbaus als Ganzen zwei weitere materialbedingte Einflussfaktoren: die Materialanzahl und die Materialdichte.

Zur Materialanzahl: Der im Rahmen alternativer Versuchsaufbauten häufig mögliche *Verzicht auf Stativmaterial* kann die Durchschaubarkeit des experimentellen Aufbaus sowohl im Demonstrations- als auch im Schülerexperiment erleichtern, indem weniger

kognitive Kapazität auf die Erfassung des Stativmaterials entfällt. Lehrkräfte sprechen dabei von einer didaktischen Reduktion, die „den Blick auf das Eigentliche“ (Interview 2) lenkt. Auch in diesem Kontext werden als Beispiele die Low-Cost-Titration und -Destillation angeführt. *Zur Materialdichte:* Im Rahmen der Handhabung klassischer Labormaterialien wurde bereits der Vorteil ihres klaren Stecksystems durch Schliffe und passgenaue Anschlüsse beschrieben. Diese Klarheit wird auch als Vorteil in Bezug auf die Durchschaubarkeit klassischer Versuchsaapparaturen beschrieben. So können nach Aussagen der Lehrkräfte vor allem *Reaktionsverläufe* in klassischen Versuchsaufbauten oftmals besser nachverfolgt werden als in experimentellen Aufbauten mit alternativem Experimentiermaterial. Im Kontext von Demonstrationsexperimenten mit der Spritzentechnik merken Lehrkräfte an, dass durch die Notwendigkeit medizinischer Dreiwegehähne, zusätzlicher Adapter, Verbindungsstücke oder ähnlichem Zusatzmaterial die Durchschaubarkeit der Gesamtapparatur beeinträchtigt ist:

Also mit diesen Spritzen und Schläuchen, das wird dann schnell auch ein kleines bisschen unübersichtlich. Also ich finde, dass so normale Materialien wie so ein Reagenzglas mit Schlauch dran, wenn das einen Ansatz hat und dann noch einen Stopfen drauf und so, das ist alles schon ein bisschen klarer als so 'ne Spritze. Und dann gibt's ja Dreiwegehähne und Schraubverschlüsse und so das alles auf eher kleinem Raum. Also insgesamt ist das vielleicht auch wieder ein bisschen komplexer und da geht für den Schüler so ein bisschen die Klarheit verloren. (Interview 1)

(iii) Einfluss des Experimentiermaterials auf den kognitiven Fokus von SchülerInnen beim Experimentieren: Da aufgrund der intuitiven Bedienung insgesamt weniger kognitive Kapazität auf die Handhabung alternativer Experimentiermaterialien entfällt als für die komplexe(re) Bedienung klassischer Labormaterialien aufgebracht werden muss, sehen Lehrkräfte das Potential, dass durch den Einsatz alternativer Experimentiermaterialien der *kognitive Fokus* der SchülerInnen von der Handhabung der Materialien *auf das eigentliche Phänomen* des Experiments gelenkt werden kann. Dieser Effekt wird nach Meinung der Lehrkräfte dadurch unterstützt, dass von alternativen Experimentiermaterialien ein geringeres Gefahrenpotential ausgeht. Auch im Sinne der bereits angesprochenen geringer ausfallenden Folgenabschätzung müssen SchülerInnen folglich weniger Aufmerksamkeit auf einen potentiellen Glasbruch, größere Chemikalienmengen oder den Einsatz des Bunsenbrenners legen:

[...] das [Kontext: alternative Experimentiermaterialien] ist nicht so unbekannt [...]. Für Schüler wäre das sicher ein Gewinn. Die können ihre Aufmerksamkeit auf das konzentrieren, was EIGENTLICH gezeigt wird, was da passiert in den Gefäßen. [...]

Da [Kontext: klassisches Labormaterial] sind ja Zweidrittel infiziert von so Gedanken an ‘was könnte passieren?’ oder so. (Interview 3)

Der Vorteil des häufig möglichen Verzichts auf Stativmaterial als Mittel der didaktischen Reduktion wurde im Rahmen der Durchschaubarkeit einer Versuchsapparatur bereits thematisiert. Mit Blick auf den kognitiven Fokus der SchülerInnen wird folglich der Vorteil gesehen, diesen primär auf die Experimentiervorgänge statt, wie im Rahmen klassischer Versuchsaufbauten oftmals zu beobachten, auf die Apparatur zu lenken. Diese Lenkung sehen Lehrkräfte vor allem als Potential für leistungs- und experimentierschwache SchülerInnen, auch unterstützt durch die begriffliche Bekanntheit alternativer Experimentiermaterialien. Demnach erleichtern *alltagsbekannte Materialbezeichnungen* im Vergleich zu chemischen Fachtermini unter anderem das Verständnis von Experimentieranleitungen, die Kommunikation der SchülerInnen untereinander oder die Kommunikation zwischen Lehrkraft und SchülerInnen über das Experiment:

In der Chemie ist es ja immer das Problem, dass wir auch Vokabeln haben, die man auswendig lernen muss und da hapert es bei den schwächeren Schülern ganz schnell. Da geht es ‘Eh ja das Dings da, da haben Sie was reingetan und dann ist das da rübergelaufen’ und ich muss fragen: ‘Eh, was meinst du?’ Und hier hätten sie eine Spritze, die kennen sie, sie haben ein Teelicht, das kennen sie, also da haben sie nicht so die Schwierigkeiten die Fachbegriffe zu finden. [...] Da [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] geht es wirklich um das Verständnis der Chemie und DAS ist schwer genug für sie zu verstehen. [...] Je schwächer die Kinder, umso weniger Wert lege ich auf die Namen der Glasgeräte. Das ist ja nicht das, was Chemie ausmacht, das ist einfach nicht wichtig. (Interview 9)

Der Einfluss des Experimentiermaterials auf die Gelungenheit eines Experiments

Der Einfluss des Experimentiermaterials auf die Gelungenheit eines Experiments im Sinne der Beobachtbarkeit und einer hinreichenden Ergebnisqualität wird differenziert nach (i) Demonstrations- und (ii) Schülerexperimenten:

(i) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Gelungenheit von Demonstrationsexperimenten: Im Rahmen der Durchschaubarkeit wurde bereits beschrieben, dass aufgrund der geringeren Materialdichte vieler klassischer Versuchsaufbauten vor allem Reaktionsverläufe klarer nachvollzogen werden können als Demonstrationsexperimente mit alternativem und darunter insbesondere medizintechnischem Material. Dieses Argument geht nach Aussagen der Lehrkräfte einher mit einer ebenso besseren Beobachtbarkeit der Vorgänge. In Kombination mit der größeren *Reichweite* der Beobachtbarkeit sowie der

einprägsameren Effekte durch insgesamt größere Versuchsaufbauten und höhere Chemikalieneinsätze sehen die befragten Lehrkräfte daher im Allgemeinen keinen Bedarf für alternative Experimentiermaterialien im Rahmen von Demonstrationsexperimenten; sei es für Materialien der Medizintechnik noch für andere alternative Experimentiermaterialien, die der hier angelegten Arbeitsdefinition entsprechen. Auch der denkbare Einsatz einer Dokumentenkamera ändert diese Einschätzung der befragten Lehrkräfte nicht. Lediglich eine Lehrkraft arbeitet auch im Rahmen von Demonstrationsexperimenten mit der Spritzentechnik. Diese hat nach eigenen Angaben mehrfach entsprechende Fortbildungen besucht und beschreibt sich selbst als ‘sehr überzeugt’ von der Spritzentechnik. Sie weist außerdem darauf hin, dass sich die *Ergebnisqualität* quantitativer Spritzenexperimente, entgegen der im Rahmen von Schwierigkeiten bei der Etablierung alternativer Materialien geäußerten Skepsis an der Genauigkeit von Kunststoffspritzen, nicht von ihrer klassischen Experimentvariante unterscheidet. In diesem Kontext genannte Beispiele der Lehrkraft sind die quantitative Luftanalyse im Demonstrationsexperiment sowie Titrationsen mittels Insulinspritzen im Schülerexperiment.

(ii) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Gelungenheit von Schülerexperimenten: Bezüglich *qualitativer Schülerexperimente* wird interviewübergreifend davon ausgegangen, dass die Beobachtbarkeit der Vorgänge *nicht* von dem eingesetzten *Experimentiermaterial abhängig* ist. Zwar wird darauf hingewiesen, dass *Farbeffekte* durch den Einsatz von Kunststoff- statt Glasmaterialien beeinflusst werden können, nichtsdestotrotz problematisieren Lehrkräfte eher eine ihrer Erfahrung nach allgemein abnehmende Fähigkeit von SchülerInnen genau zu beobachten statt einen Einfluss des Experimentiermaterials. Im Zuge dessen sehen Lehrkräfte einen weiteren Vorteil von Experimenten, die mit alternativen Materialien realisiert werden, darin, dass der in der Regel reduzierte Chemikalieneinsatz eine *zügigere Effektwiederholung* bei eventueller Unaufmerksamkeit der SchülerInnen oder bei Experimentierfehlern erlaubt. Ebenfalls positiv auf die Beobachtbarkeit auswirken kann sich die bereits beschriebene Möglichkeit kleinerer Gruppengrößen bei Einsatz kostengünstigerer Experimentiermaterialien. So sehen Lehrkräfte die Chance, dass bei kleinerer Gruppengröße die Vorgänge des Experiments besser von *allen* SchülerInnen einer Gruppe *gleichermaßen beobachtet* werden können. Diese kleinere Gruppengröße in Kombination mit dem im Allgemeinen kleineren Gesamtaufbau alternativer Versuchsaufbauten kann dann dafür sorgen, dass SchülerInnen *näher an das Experiment herantreten* und auf diese Weise die Vorgänge sogar

detaillierter beobachten können (aber auch müssen) als bei Versuchsaufbauten mit klassischem Labormaterial:

Bei größeren, bei den klassischen Laborgeräten, da sehen sie im Prinzip schon, dass was passiert, aber die Feinheiten, da wird dann teilweise nicht drauf geachtet. Und dadurch, dass man hier gezwungen ist ganz genau hinzugucken, kriegt man gewisse Details einfach früher mit und ist ein bisschen näher am Geschehen dran hier bei so ganz kleinen Dingen. (Interview 8)

*Der Einfluss des Experimentiermaterials auf
das Autonomieerleben von SchülerInnen beim Experimentieren*

Eine Anforderung, insbesondere an ein gelungenes *Schülerexperiment*, liegt darin, den SchülerInnen ein Gefühl des Autonomieerlebens zu ermöglichen, beispielsweise durch eine gewisse Offenheit der Experimentiersituation. Diesbezüglich sehen Lehrkräfte einen Vorteil funktional bekannter alternativer Experimentiermaterialien darin, dass sie SchülerInnen ein Gefühl von *Selbstständigkeit* beim Experimentieren vermitteln können, indem bei ihrer Bedienung weniger Hilfestellung durch eine Lehrkraft benötigt wird. In Kombination mit dem reduzierten Gefahrenpotential und der fehlenden Vorgabe des Zusammenbaus durch die Materialien selbst, können die SchülerInnen auf diese Weise stärker zum *kreativen Ausprobieren* beim Experimentieren ermutigt werden als es bei klassischem Labormaterial möglich ist:

Da [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] ist Kreativität also mehr gefördert, als wenn ich einen Bausatz habe, der nur genau so zusammenpasst und nicht anders. [...]. Es ist offener dadurch, dass die Scheu hier vor den Materialien wegfällt und sie wissen, was da drin ist normalerweise im Alltag und wofür das gebraucht werden kann. (Interview 8)

Diese Offenheit kann durch die Bereitstellung eines „Material-Sammelsuriums“ nach dem *Kistenprinzip* wesentlich eher mit alternativen als mit in der Regel größeren klassischen Materialien erzielt werden. Darüber hinaus beschreiben sich auch die Lehrkräfte selbst, vor allem aufgrund des reduzierten Gefahrenpotentials alternativer Experimentiermaterialien, als weniger angespannt während der Experimentiersituation. Im Gegensatz zum Experimentieren mit Bunsenbrennern, klassischen Glasmaterialien und höheren Chemikalienmengen, können sie die SchülerInnen in Experimentierphasen mit alternativem Material folglich „einfach mal machen lassen“ (Interview 3). Diese Offenheit einschränkend macht eine Lehrkraft darauf aufmerksam, dass bestimmte Low-Cost-Konstruktionen aufgrund der Zweckentfremdung von Materialien ohne konkrete Instruktion

ein zu *hohes Maß an Kreativität und Umdenken* von vor allem schwächeren SchülerInnen fordern können. Aus dem Anschauungsmaterial als Beispiele herangezogen werden der Kerzen- und der Mikrobrenner sowie die alternative Destillationsapparatur.

Der Einfluss des Experimentiermaterials auf emotionale Erlebenszustände von SchülerInnen beim Experimentieren

Mit Blick auf die von SchülerInnen empfundenen Emotionen beim Experimentieren sind erste Aspekte schon genannt worden. So führt die bereits thematisierte Folgenabschätzung aus Robustheit, Materialwert und empfundener Herausforderung beim Experimentieren dazu, dass SchülerInnen beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial *angespannter* sind. Diese Folgenabschätzung fällt für das Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien insgesamt „nicht so dramatisch“ (Interview 7) aus, was im Umkehrschluss dazu führt, dass SchülerInnen beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien weniger angespannt sind. Im Zuge dessen beschreiben die Lehrkräfte den Vorteil, dass den SchülerInnen durch den Einsatz alternativer Experimentiermaterialien eine *Hemmschwelle* vor dem Experimentieren genommen, ihr *Zutrauen in ihre eigenen experimentellen Fähigkeiten* vor der konkreten Experimentiersituation gesteigert und so im Umkehrschluss das Erleben der eigenen Kompetenz gefördert werden kann. Sie sprechen von der Möglichkeit, „die Schüler, die dann eher ein bisschen ängstlicher sind, [...] sozusagen aus der Reserve (zu locken)“ (Interview 10). Dieses Gefühl eines gesteigerten Vertrauens in die eigenen Fähigkeiten wird zum einen durch die Alltags- und Funktionsbekanntheit und damit oftmals intuitive Bedienung sowie durch das, auch von SchülerInnen wahrgenommene, verringerte Gefahrenpotential alternativer Experimentiermaterialien unterstützt:

Die Angst ‘oh, mache ich da jetzt was kaputt?’ Allein schon, wenn man was ins Stativ einspannt. [...] Erstmal muss man wissen, wie rum kommt diese blöde Muffe da rein, da geht’s ja schonmal los, dass sie die da falsch herum reinmachen. Das ist nicht schlimm, aber da ist so viel fremd, was immer schon so eine gewisse Angst oder einen gewissen Widerstand hervorruft und das ist dabei [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] einfach geringer [...]. Das andere ist teuer, dann die Angst, dass man sich verletzen kann und so weiter. [...] DA [Kontext: klassisches Labormaterial] muss so viel überwunden werden, bis sie zum eigentlichen Experiment kommen, dass sie dann vielleicht schon gar keine Lust mehr auf das Experiment haben. (Interview 2)

Im Zuge dieser geringeren Hemmschwelle bestätigen Lehrkräfte durch den Einsatz alternativer Experimentiermaterialien auch die in Tabelle 3 (s. Abschnitt 2.2.2) bereits festgehaltene Chance, eine Brücke zwischen Alltag und Fachunterricht zu schlagen, die den

SchülerInnen einen leichteren *Zugang zum Experimentieren* sowie das Gefühl einer *Be-deutsamkeit des Lerninhalts* auch durch das verwendete Material vermitteln kann.

Ein anderer Teil der Lehrkräfte beschreibt indes, dass gerade der Einsatz alltagsbekanntere Experimentiermaterialien ohne unmittelbaren Fachbezug auf SchülerInnen den Eindruck einer gewissen *Herabstufung ihrer Kompetenz* hinterlassen kann. Die befragten Lehrkräfte nutzen in diesem Kontext Ausdrücke wie „niedliche Bastelei“ (Interview 5) oder „Kindergartenspielerei“ (Interview 8). Im Gegensatz dazu nehmen SchülerInnen beim Umgang mit fachbezogenem *professionellen Laborgerät* ein Gefühl von *Stolz* wahr:

[...] es ist so klein und winzig, auch mit einem Teelicht, und dann müssen sie auch noch eine Schutzbrille aufsetzen. Die kommen sich da, meiner Einschätzung nach, schon so vor wie in der Grundschule oder wie so Behandlung mit Kleinkindern. Hin-gegen wenn man natürlich hier große Laborgeräte und dann einen großen Rundkolben in der Hand hat, ja? Das ist dann schon nochmal ein bisschen beeindruckender für die Schüler, ja? Das können sie auch daheim erzählen. (Interview 6)

So geht das Fach Chemie nach Aussagen der Lehrkräfte auch mit einer *Erwartungshal-tung* von SchülerInnen einher, die den Einsatz klassischer Labormaterialien mit einem gewissen *chemischen Charakter* vorsieht. Diesen chemischen Charakter „würde man mit so einem Kleinen [wiederum] nicht in Verbindung bringen“ (Interview 7), sodass Lehrkräfte darauf hinweisen, durch einen häufigen Einsatz alternativer Experimentiermateri-alien die Erwartungshaltung der SchülerInnen an das Fach Chemie potentiell enttäuschen zu können.

Authentizität

Der Aspekt der Erwartungshaltung von SchülerInnen und Lehrkräften an den Einsatz von klassischem Labormaterial im Chemieunterricht weist bereits auf die Authentizität als das Selektionskriterium hin, das erst aufgrund einer häufigen Nennung innerhalb der Inter-views in die Analyse des Datenmaterials und schließlich in die Ergebnisdarstellung auf-genommen wurde. Da das Material letztlich ein Oberflächenmerkmal des Arbeitens von ChemikerInnen und kein Kernmerkmal wissenschaftlicher Forschung darstellt (Sommer, Firstein & Rothstein, 2020), soll die Authentizität durch das Material auch hier nicht als zwingend erforderliche Anforderung an ein Schulexperiment festgehalten werden. Da mit nur einer Ausnahme dennoch *alle* Lehrkräfte den Einsatz klassischer Labormaterialien eng verbunden sehen mit ihrer Wahrnehmung eines „echten“ Schulexperiments, soll der Einsatz klassischer Labormaterialien beziehungsweise alternativer

Experimentiermaterialien hier als Variable festgehalten werden, die die wahrgenommene Authentizität einer Experimentierumgebung beeinflussen kann. Eine theoretische Grundlage dafür liefern unter anderem Arbeiten von Schüttler et al. (2021) oder Betz, Flake, Mierwald und Vanderbeke (2016), die das Material bereits als ein Merkmal von Lernsettings identifiziert haben, mit dem der Grad der Authentizität des jeweiligen Settings sowie das situationale Interesse von SchülerInnen beeinflusst werden kann.

So halten auch die Lehrkräfte in den hier geführten Interviews fest, dass Experimente auch auf materieller Ebene eine Lernumgebung darstellen sollen, die den SchülerInnen durch den Einsatz professionellen Experimentiermaterials, heißt hier klassischen Labormaterials, einen möglichst realistischen *Einblick in die Berufswelt von in außerschulischen Forschungs- oder Industrielaboren* tätigen ChemikerInnen ermöglicht. Auch in dem Bewusstsein, dass sich Forschungs- und Industrielabore nochmals deutlich von klassischen Labormaterialien aus dem Schulkontext unterscheiden, sehen Lehrkräfte durch den Einsatz klassischer Labormaterialien noch *eher* eine gewisse *Authentizität der Experimentiersituation* gegeben als durch alternatives Experimentiermaterial, denen ein gewisser *chemischer Charakter fehlt*. Eine Lehrkraft spricht im Kontext alternativer Experimentiermaterialien von einer „Parallelwelt [...] zu dem, wie es in Wirklichkeit ist, in echt abläuft“ (Interview 2). Im Zuge dessen kritisiert eine weitere Lehrkraft die ‘Vergünstigung der Chemiesammlung’ durch die Entwicklung von Low-Cost-Alternativen, inklusive der Medizintechnik, und betont die Notwendigkeit der Heranführung von SchülerInnen an das „bisschen High-Tech“, das im Rahmen schulischer Experimente überhaupt möglich ist:

Ich sehe die Gefahr, dass das benutzt wird, um die Chemiesammlungen billiger zu machen und das sehe ich als kritisch und falsch an. Wir sollten froh sein, wir sind ja durchaus ein reiches Land [...]. Es ist sowieso schon schwierig genug, selbst mit den jetzigen Materialien, was hier als ‘Großexperimente’ so bezeichnet wird, das kann man nur sehr eingeschränkt machen. [...] Aber es ist die Aufgabe der Lehrer, die Schüler dahinzuführen zu so ein bisschen High-Tech oder so ein bisschen in diese Richtung. [...] Je älter die Schüler werden, also da halte ich immer weniger von den Low-Cost-Sachen. (Interview 13)

Innerhalb des Interviewmaterials wird klassisches Labormaterial daher häufig auch als „echtes“ oder „richtiges“ Material bezeichnet, wohingegen alternativem Experimentiermaterial, darunter insbesondere (umfunktionierten Alltagsmaterialien), eine gewisse „Behelfsmäßigkeit“ von „sozusagen Billigmaterialien“ zugesprochen wird, die nach Aussagen einiger Lehrkräfte auch die SchülerInnen wahrnehmen:

Ich glaube, dass dieses bisschen Behelfsmäßige ihnen [gemeint: den SchülerInnen] da eigentlich nicht so richtig gut gefällt. Also ich glaub', die finden cooler so richtige Chemiesachen halt [...]. Ich könnte mir vorstellen, dass die Materialien, weil sie professioneller sind, eine höhere Identifikation gerade in der Chemie oder 'ne höhere Lust auf Chemie machen, weil, glaube ich, man fühlt sich halt so wie im Labor, wenn man da mal so 'nen Glaskolben oder irgend sowas benutzt. Also ich glaube, Schüler finden das besser [...]. Weil ansonsten könnte doch immer so ein bisschen der Eindruck entstehen 'naja, die Schule hat nicht genug Geld und wir machen das jetzt sozusagen mit Billigmaterialien, das ist dann aber nicht so richtig echt'. (Interview 1)

Eine Lehrkraft geht dabei jedoch von einem Zusammenhang zwischen der Einstellung von SchülerInnen gegenüber Low-Cost-Materialien und der Regelmäßigkeit ihres Einsatzes im Unterricht aus:

Ich kann mir aber vorstellen, dass bei anderen Kollegen, die eben nicht so experimentierfreudig sind, dass dann kommt: 'Was sollen wir denn damit? Das ist ja Müll [...], das schmeißen wir immer weg, was machen wir damit jetzt?' (Interview 9)

An dieser Stelle sei ausdrücklich betont, dass trotz kritischer Aussagen zur Wirkung alternativer Experimentiermaterialien auf die SchülerInnen ebenso alle Lehrkräfte äußern, dass die Priorität der SchülerInnen immer darauf liegt, *überhaupt* zu experimentieren. Folglich wurden alle zuletzt genannten Kategorien zur geringer wahrgenommenen Authentizität alternativer Experimentiermaterialien stets innerhalb *eines* Äußerungskontextes mit der Kategorie *materialunabhängige Experimentierfreude* von SchülerInnen kodiert.

Einfluss des Experimentiermaterials auf Ziele des experimentellen Arbeitens

Innerhalb des Interviewmaterials thematisieren Lehrkräfte häufig einen Zusammenhang zwischen dem Einsatz klassischer Labormaterialien und dem Erreichen vor allem fachlicher und psychologischer Ziele experimentellen Arbeitens im Chemieunterricht (s. Tabelle 12). Auf die jeweils beschriebenen Zusammenhänge wird im Folgenden eingegangen.

Mit Blick auf fachliche Ziele experimentellen Arbeitens schreiben Lehrkräfte dem Einsatz klassischer Labormaterialien sowohl die Funktion der Vermittlung *naturwissenschaftlicher Grundbildung* als auch die der *Berufsorientierung* und konkreten *Berufsvorbereitung* zu, insbesondere im Unterricht der Oberstufe. Für beides elementar ist das *Kennenlernen und Benennen von Standard-Laborgeräten* sowie das *Kennenlernen und*

selbstständige Durchführen grundlegender *naturwissenschaftlicher Arbeitstechniken und Verfahren*, darunter der Umgang mit dem Bunsenbrenner, das Destillieren in einer klassischen Destillationsapparatur, Fähigkeiten des genauen Abmessens mittels Pipette und Peleusball, das Ablesen von Skalen an Büretten oder Kolbenprobern oder das „klassische Titriergefühl“ (Interview 12) mittels Büretten. Darüber hinaus ist der Einsatz klassischer Labormaterialien und die Konfrontation mit fremden Fachmaterialien nach Auffassung der Lehrkräfte zwingend notwendig, um *Experimentierängste abzulegen* und um *kulturgeschichtlich bedeutende Materialentwicklungen* wie Erlenmeyerkolben, Liebigkühler oder Bunsenbrenner kennenzulernen. Betrachtet man diesbezüglich Kategorienzusammenhänge mit Hilfe von QDA-Software, ist zu beobachten, dass entsprechende Aussagen inhaltlich zusammenhängen mit der Kategorie *kein Alternativen-Bedarf*, die unter organisatorischen Schwierigkeiten bei der Etablierung alternativer Experimentiermaterialien bereits erläutert wurde.

Es sei jedoch erwähnt, dass nicht *alle* teilnehmenden Lehrkräfte einen notwendigen Zusammenhang zwischen dem Einsatz klassischen Labormaterials und der Vermittlung fachspezifischer Arbeitstechniken und -verfahren sehen. So wird vereinzelt auch argumentiert, dass in Bezug auf Techniken wie Destillieren oder Titrieren *das Prinzip vermittelt* werden muss und dies wiederum materialunabhängig möglich ist. Außerdem wird als Ziel experimentellen Arbeitens auch an die Ausbildung feinmotorischer Fähigkeiten von SchülerInnen appelliert und im Zuge dessen der Umgang mit kleineren Low-Cost-Materialien als *Schulung der Feinmotorik* eingestuft:

Da [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] haben Schüler Schwierigkeiten mit. So filigrane Sachen da geht es ‘ups jetzt ist das ja ganz voll’. Ja also, das ist viel zu klein für die Schüler erstmal, das bedarf bestimmt Übung. [...] Schwierig aber auch spannend, weil sie brauchen es hinterher in ganz vielen Bereichen und sie können es definitiv nicht, die meisten Schüler. (Interview 9)

Aufgrund des im Vergleich zu klassischem Labormaterial leichter zu realisierenden Kistenprinzips benennen Lehrkräfte außerdem den Vorteil, durch alternative Experimentiermaterialien die Möglichkeit des *Erlernens einer Verantwortlichkeit* im Umgang mit Experimentiermaterialien als wiederum pädagogisches Ziel des experimentellen Chemieunterrichts zu schaffen: „Jeder weiß, ich bin für diesen Kasten am Ende auch verantwortlich [...]. Wenn sie aus dem Schrank alles Mögliche rausholen, dann weiß hinterher keiner mehr wer dieses Becherglas jetzt da versaut hat“ (Interview 1). Bezüglich psychologischer Ziele findet sich im Textmaterial häufig ein unmittelbar formulierter

Zusammenhang zwischen dem *fehlenden chemischen Charakter* alternativer Experimentiermaterialien und der Tatsache, dass durch den Einsatz klassischen Labormaterials eher *Begeisterung und Interesse* für das Fach Chemie bei SchülerInnen ausgelöst werden kann. Vor allem im Rahmen von Demonstrationsexperimenten wird der Eigenschaftskombination aus Größe, Komplexität und Fachbezug materiell aufwendiger Versuchsaufbauten aus klassischem Labormaterial das Potential zugeschrieben, das Interesse der SchülerInnen an der Lernsituation eher auf sich zu ziehen als entsprechend miniaturisierte Low-Cost-Apparaturen aus Alltagsmaterialien oder medizintechnischen Materialien. Klassische Aufbauten werden im Zuge dessen als *imposanter* und die Effekte aufgrund der größeren Chemikalienmenge als *stärker begeisternd* beschrieben. Auch im Rahmen von Schülerexperimenten wird dabei von einer gewissen „Ästhetik der Chemie“ durch die Materialien gesprochen:

Das macht ja auch den Zauber manchmal so ein bisschen aus an der Chemie. Da darf man, kriegt man Geräte in die Hand, die man im Alltag eben NICHT hat. Das ist ja auch, das kann ja auch was Schönes sein, ja? (Interview 5)

Zum Abschluss der Ergebnispräsentation dieser ersten Studie wird im nächsten Abschnitt die Reliabilität der Ergebnisse sichergestellt, um diese dann vor dem theoretischen Hintergrund der Untersuchung zusammenzufassen.

4.4.4 Reliabilität der Ergebnisse

Das Analysieren von Textmaterial mit Hilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse bedeutet trotz der stark systematischen, theoriegeleiteten Herangehensweise weiterhin, dass ForscherInnen Aussagen anderer Personen, hier der teilnehmenden Lehrkräfte, eine Bedeutung zuweisen. Letztlich werden Aussagen in gewisser Weise interpretiert. Um eine entsprechende Gültigkeit dieses Interpretations- und Zuweisungsprozesses gewährleisten zu können, liefert die qualitative Forschung mehrere Möglichkeiten der Reliabilitätsprüfung. Auf die Möglichkeit der Validierung unter ExpertInnen wurde in Schritt 2 der Datenauswertung (s. Abschnitt 4.3) zurückgegriffen, um die zwölf Materialeigenschaften zu identifizieren, in deren Ausprägung sich alternative Experimentiermaterialien und klassisches Labormaterial voneinander unterscheiden und von denen ein Einfluss auf fachdidaktische

Anforderungen an ein gelungenes Experiment ausgeht (s. Forschungsfrage 1.1). Diese Klassifizierung von Eigenschaften aus dem Datenmaterial ließ wenig Interpretationsspielraum, sodass auf weitere Reliabilitätsprüfungen verzichtet werden konnte. Ein deutlicher größerer Interpretationsspielraum liegt hingegen in den von den Lehrkräften beschriebenen Einflüssen dieser Eigenschaften auf die jeweiligen fachdidaktischen Anforderungen an ein Experiment. Aus diesem Grund wurden 50 % des Interviewmaterials von zwei voneinander unabhängigen Personen kodiert. Die durch Person 1 induktiv gebildeten Kategorien lagen Person 2 dabei vor, es war jedoch stets die Möglichkeit der Erweiterung des Kategoriensystems durch Person 2 gegeben. Die Übereinstimmung beider Personen (Interkoder-Reliabilität) wurde anschließend über Cohens Kappa κ berechnet (Cohen, 1960). Die errechnete Übereinstimmung der Kodierer für die in den Tabellen 10, 11 und 12 beschriebenen Kategoriensysteme liegt mit einem Gesamtwert von $\kappa = 0,85$ in einem guten bis sehr guten Übereinstimmungsbereich (Bortz & Döring, 2006; Fleiss & Cohen, 1973), sodass von einer hinreichenden Auswertungs- und Interpretationsobjektivität der Ergebnisse zu Forschungsfrage 1.2 ausgegangen werden kann.

Um die übergeordnete Forschungsfrage (F 1) abschließend beantworten zu können, werden die bisher beschriebenen Ergebnisse im folgenden Kapitel vor dem theoretischen Hintergrund dieser Arbeit zusammengefasst.

4.5 Zusammenfassung und Hypothesenbildung

Ziel der ersten Studie war die Erhebung der von Lehrkräften beschriebenen positiven wie negativen Einflüsse alternativer Experimentiermaterialien und klassischer Labormaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an ein gelungenes Experiment im Chemieunterricht. Abschließend folgen Zusammenfassungen der Ergebnisse zu jeder der theoretisch beschriebenen Anforderungen. Diese Zusammenfassungen münden in Hypothesen bezüglich des Zusammenhangs zwischen dem Experimentiermaterial als unabhängige Variable und experimentellen wie affektiven Anforderungen an ein Experiment als abhängige Variable, die in Studie II überprüft werden. Da Studie II ausschließlich Schüler- und keine Demonstrationsexperimente betrachtet, wurden bei der Hypothesenbildung nur diejenigen Ergebnisse berücksichtigt, die sich nicht explizit auf Demonstrationsexperimente beziehen. Auch organisatorische Anforderungen werden im Rahmen dieser Hypothesenbildung nicht berücksichtigt, da Studie II die Perspektive von SchülerInnen auf das

Experimentiermaterial erhebt und davon ausgegangen wird, dass Lehrkräfte die Bedeutung des Materials für die Organisation von Experimenten im Unterricht kompetenter beurteilen können. Auch der beschriebene Einfluss des Experimentiermaterials auf Ziele experimentellen Arbeitens wird in dieser Zusammenfassung nicht erneut aufgegriffen, da er nicht unmittelbar zur Beantwortung von Forschungsfrage 1 beiträgt.

Rahmenbedingungen, Zeitaufwand, Arbeitssicherheit

Organisatorische Vorteile bei der Etablierung alternativer Experimentiermaterialien wurden im Rahmen der theoretischen Herleitung dieser Arbeit (s. Abschnitt 2.2.1) bereits beschrieben und werden von den hier teilnehmenden Lehrkräften auch unterrichtspraktisch bestätigt, darunter vor allem die verringerte Chemikalienmenge und eine damit einhergehende erhöhte Arbeitssicherheit, die Reduktion von Chemikalienabfällen, zügigere Reaktionszeiten und damit eine Zeitersparnis im Unterricht selbst. Das größte Potential alternativer Experimentiermaterialien sehen Lehrkräfte in der Etablierung preiswerter, verschließbarer Kunststoffspritzen ohne weiteres Zubehör und außerhalb fertiger Experimentiersets, die im Rahmen von Schülerexperimenten als robuster, leicht austauschbarer Ersatz für anfällige Kolbenprober und Büretten aus Glas, für Peleusbälle oder für Schülerexperimente zur Aufbewahrung und dosierten Zugabe von Gasen eingesetzt werden können. Gleichzeitig nimmt das alternative Material in der Regel weniger Arbeitsfläche ein, sodass einfacher von allen SchülerInnen parallel protokolliert werden kann und in Kombination mit einer zügigeren Versuchsdurchführung sowie einem oftmals zügigeren Versuchsauf- und -abbau eine Zeitersparnis im Unterricht selbst geschaffen werden kann.

Diesen eindeutigen Vorzügen steht den Ergebnissen der ersten Studie zufolge eine Reihe organisatorischer Argumente gegenüber, die Lehrkräfte im Allgemeinen von der Etablierung alternativer Experimentiermaterialien an ihren Schulen abhalten. Die wesentlichen Aspekte sind ein zu geringer Bedarf an kostengünstigen Alternativen, die über einfache Kunststoffspritzen hinausgehen, sowie der notwendige Zeitaufwand, der in das private Ansammeln umfunktionierter Alltagsmaterialien, das Beantragen zur Beschaffung medizintechnischer Materialien, das Zusammenbauen bestimmter Spritzenkonstruktionen oder in selbst zusammengestellte Low-Cost-Experimentierkisten investiert werden muss. Käuflich zu erwerbende Low-Cost-Experimentiersets zu konkreten Experimenten werden für Schulen als finanziell nicht realisierbar beschrieben; zusätzlich wird das aus Lehrerperspektive grundlegend wünschenswerte, da mobile, theoretisch zügigere und

übersichtlichere Kistenkonzept zu konkreten Experimenten aus unterrichtspraktischer Perspektive für den Schulalltag als nicht realistisch beschrieben. Begründet wird dies mit einer zu starken Einseitigkeit jener Kisten, einer zu hohen Materialfluktuation und einem daher zu hohen Wartungsaufwand entsprechender Kisten. Darüber hinaus besteht aus der Perspektive von Lehrkräften eine Abhängigkeit zwischen der Etablierung alternativer Experimentiermaterialien und einem gewissen Lehrertyp. Danach sind Lehrkräfte, die sich als „Basteltyp“ auszeichnen und nicht von einer „klassischen Denke“ mit Blick auf die Beurteilung von Experimentiermaterialien geprägt sind, der Etablierung alternativer Experimentiermaterialien gegenüber offener eingestellt. Auch, nach eigenen Aussagen, offen eingestellte Lehrkräfte beschreiben jedoch einen deutlichen Fortbildungsbedarf, auch um ihre Skepsis gegenüber der Ergebnisqualität und Sicherheit entsprechend alternativer Experimentiermaterialien zu prüfen. Unabhängig von der individuellen Einstellung der Lehrkräfte sind vor dem Hintergrund der Arbeitssicherheit im Chemieunterricht jedoch ihre Praxiserfahrungen hervorzuheben, nach denen die Instabilität alternativer Materialien und Versuchsaufbauten sowie ihr Spielcharakter und das damit einhergehende Risiko eines nicht-sachgerechten Umgangs mit den Materialien kritisiert wird, darunter der Einsatz von Teelichtern, Kanülen oder Kunststoffspritzen als Spritzgeschosse.

Zusammenfassend wird alternatives Experimentiermaterial von Lehrkräften daher entweder positiv als sichere, kreative Alternative mit hohem Alltagsbezug wahrgenommen oder als – so wörtlich – nicht notwendiger „Fummelkram“ bezeichnet, der zusätzlichen und sowieso wenig vorhandenen Lagerplatz einnimmt. Ein dritter Teil der Stichprobe differenziert deutlich zwischen Materialien der Medizintechnik und umfunktionierten Alltagsmaterialien und beschreibt erst bei letzteren die Überschreitung eines gewissen Grads an „akzeptabler Improvisation“.

Grad der Herausforderung

Lehrkräfte sehen den Grad der Herausforderung einer Experimentiersituation sowohl auf kognitiver als auch auf apparativ-handwerklicher Ebene durch das Experimentiermaterial beeinflusst. Beide Facetten werden insgesamt als mit klassischem Labormaterial herausfordernder bewertet. Zwar wird klassisches Labormaterial als griffiger beschrieben und mit Blick auf die Handhabung alternativer Experimentiermaterialien auf oftmals nicht ausreichend vorhandene feinmotorische Fähigkeiten von SchülerInnen hingewiesen, nichtsdestotrotz wird vor allem die Koordination aus Glas- und Stativmaterial als *der*

Aspekt hervorgehoben, der die handwerkliche Herausforderung beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial steigert. Der im Rahmen von klassischem Labormaterial stärkere Grad der *kognitiven* Herausforderung wird mit der komplexeren Bedienung sowie mit einer im Vergleich höher ausfallenden Folgenabschätzung aus Materialwert, Robustheit und Gefahrenpotential beim Experimentieren begründet: Je anfälliger die Materialien gegenüber fehlerhaften Gebrauch oder Glasbruch und je höher der Materialwert und die potentielle Schadenshöhe, desto stärker ist die von SchülerInnen empfundene Herausforderung beim eigenständigen Experimentieren. Im Zuge dessen wird eher das Risiko einer von SchülerInnen wahrgenommenen „Banalität“ von Low-Cost-Experimenten gesehen, unterstützt durch die im Folgeabschnitt aufgegriffene, oftmals intuitive Bedienung alternativer Experimentiermaterialien. Das Argument der kleineren Gruppengrößen, einer damit eventuell einhergehenden stärkeren kognitiven Aktivierung und einer damit stärkeren Herausforderung im Rahmen alternativer Experimentvarianten wird im Vergleich deutlich seltener genannt.

Durchschaubarkeit des Gesamtversuchsaufbaus und einzelner Bestandteile

Der zuletzt beschriebene Grad der Herausforderung in einer Experimentiersituation wird auch damit begründet, wie durchschaubar die Bedienung und Funktionalität einzelner Experimentiermaterialien und Gesamtversuchsaufbauten für SchülerInnen ist. Dabei wird die Bedienung und Funktion klassischer Labormaterialien im Allgemeinen als komplexer, die Bedienung und Funktion vieler alternativer Materialien hingegen als intuitiv, da alltagsbekannt bezeichnet. Mit Blick auf die Durchschaubarkeit einer Gesamtapparatur unterscheiden Lehrkräfte zusätzlich zwischen dem Aspekt der Materialanzahl und der Materialdichte. Sobald alternative *Schülerexperimente* auf Stativmaterial verzichten können, wird im Vergleich zum jeweils klassischen Versuchsaufbau die Chance einer materiellen, didaktischen Reduktion zur besseren Durchschaubarkeit von Versuchsapparaturen beschrieben. So resultiert diese Materialreduktion, in Kombination mit der geringer ausfallenden Folgenabschätzung und der oft intuitiven Bedienung der Einzelmaterialien, in der Annahme, dass SchülerInnen im Rahmen von *Schülerexperimenten* mit alternativem Experimentiermaterial insgesamt mehr kognitive Kapazität für das Experiment als solches zur Verfügung steht. Bei einem Vergleich der Durchschaubarkeit von *Demonstrationsexperimenten* mit alternativem und klassischem Material hingegen überwiegt in der Argumentation der Lehrkräfte das Argument der Materialdichte. Dabei werden

klassische Versuchsapparaturen aufgrund von passgenauen Anschlüssen und Schliffen als einfacher durchschaubar und Experimentverläufe als besser nachvollziehbar beschrieben als Demonstrationsapparaturen, die mit alternativem Experimentiermaterial realisiert sind. Dieses Argument bezieht sich vor allem auf Demonstrationsexperimente mit der Sprizentechnik, deren Materialdichte aufgrund von benötigtem Zusatzmaterial oftmals höher ist als die jeweils klassische Materialvariante des Experiments.

Die bislang zusammengefasste Argumentation der Lehrkräfte bezüglich eines Einflusses der Materialvariable auf den von SchülerInnen wahrgenommenen Grad der Herausforderung, auch im Sinne der Durchschaubarkeit des Gesamtversuchsaufbaus und einzelner Bestandteile, resultiert für den Rahmen eines Schülerexperiments in folgender Annahme:

Hypothese 1: Das Experimentieren mit klassischem Labormaterial wird von SchülerInnen als herausfordernder wahrgenommen als das Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial.

Gelungenheit

Als eine Anforderung zur Genese intrinsischer Motivation wurde im Rahmen der theoretischen Herleitung das Erleben von Erfolg beschrieben, das im Chemieunterricht auch von der Gelungenheit des Experiments und damit der Beobachtbarkeit der Vorgänge und Ergebnisqualität des Experiments abhängt. Auch wenn einzelne Kategorien darauf hindeuten, dass Experimente mit alternativem Experimentiermaterial in kleineren Gruppen sogar eine detailliertere Beobachtung ermöglichen und auch erfordern, wird sowohl für das qualitative als auch das quantitative *Schülerexperiment* im Allgemeinen nicht davon ausgegangen, dass die Materialvariable die Qualität der Beobachtbarkeit oder des Ergebnisses beeinflusst. Hingegen sehen Lehrkräfte – mit einer Ausnahme – für Demonstrationsexperimente mit alternativen Materialien, darunter auch Materialien der Sprizentechnik, die theoretisch beschriebene Grenze der Miniaturisierung (s. Abschnitt 2.2.1) und damit Beobachtbarkeit erreicht; dabei auch aufgrund der bereits beschriebenen höheren Materialdichte entsprechender Versuchsaufbauten. Da die Äußerungen der Lehrkräfte

sich weniger auf die Ergebnisqualität als auf den Aspekt der Beobachtbarkeit als Teil der Gelungenheit eines Experiments beziehen, wird mit folgender Hypothese fortgefahren:

Hypothese 2: Das Experimentiermaterial hat im Rahmen von Schülerexperimenten keinen Einfluss auf die Beobachtbarkeit des Experiments.

Autonomieerleben durch Offenheit

Alternativen Experimentiermaterialien, darunter vor allem Spritzen, Kanülen, Blockbatterien, Teelichtern und Mini-Leuchtdioden, wird aufgrund ihrer oftmals funktionalen Bekanntheit, einer damit einhergehenden eher intuitiven Bedienung und ihrem in der Regel verringerten Gefahrenrisiko ein stärkeres Potential zum selbstständigen, kreativen und ungehemmten Experimentieren durch die SchülerInnen zugesprochen. Diese Möglichkeit der Öffnung einer Experimentiersituation wird beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial als entsprechend geringer eingestuft. Gründe dafür sind vor allem die insgesamt komplexere Bedienung klassischer Labormaterialien, der stärker herausfordernde Aufbau klassischer Versuchsaufbauten und eine dadurch potentiell eher entstehende Abhängigkeit von der Hilfe Außenstehender. Außerdem bestätigen Lehrkräfte die in der theoretischen Herleitung (s. Tabelle 3) bereits angemerkte Einschränkung in der Kreativität klassischer Glasapparaturen, die den Versuchsaufbau durch ihre Beschaffenheit (passgenaue Schliffe, Anschlüsse) stark vorgeben.

Hypothese 3: SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial eine stärkere Offenheit wahr als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial.

Emotionale Erlebenszustände (Motivation / Interesse)

Die Lehrkräfte identifizieren jeweils positive wie negative Emotionen von SchülerInnen beim Einsatz alternativer Experimentier- beziehungsweise klassischer Labormaterialien, die für das von SchülerInnen empfundene, zunächst situationale Interesse an einer konkreten Experimentiersituation relevant sind. So löst das eigenständige Experimentieren

mit klassischen Labormaterialien eine deutlich stärker empfundene Anspannung bis stellenweise Ängstlichkeit in SchülerInnen aus als der Einsatz entsprechend alternativer Materialien. Auch an dieser Stelle wird mit der bereits mehrfach thematisierten, höher ausfallenden Folgenabschätzung argumentiert, die die SchülerInnen beim Experimentieren vornehmen. Dass der Einsatz klassischer Labormaterialien gleichzeitig auch für das situationale Interesse positive Gefühle von Stolz und Begeisterung auslösen kann, unter anderem durch ihren stärkeren Fachbezug, intensivere Effekte, komplexere Versuchsaufbauten oder eine ihrer Erwartungshaltung eher entsprechenden, stärker wahrgenommenen Authentizität der Experimentiersituation, ändert die stärkere Anspannung der SchülerInnen beim Experimentieren mit klassischen Labormaterialien nicht. Allgemein gehen die Lehrkräfte demnach von folgendem Zusammenhang aus:

Hypothese 4: SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial eine stärkere Anspannung wahr als beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial.

Vor dem Hintergrund der Genese von Motivation müssen insbesondere die Grundbedürfnisse des Autonomie- sowie Kompetenzerlebens von SchülerInnen in der Experimentiersituation betrachtet werden. Der Einfluss des Experimentiermaterials auf das Erleben von Autonomie wurde im vorherigen Textabschnitt bereits dargestellt. Würde man dieses separat betrachten, müsste folglich von einem positiven Zusammenhang zwischen dem Einsatz alternativer Experimentiermaterialien und der Genese intrinsischer Motivation ausgegangen werden. Da beide, für diese Arbeit relevanten, Grundbedürfnisse jedoch *gleichzeitig* erfüllt sein müssen, um langfristig eine Motivation am Fach Chemie und am Experimentieren aufbauen zu können, muss auch das von den SchülerInnen empfundene Kompetenzerleben und dessen Beeinflussung durch das Experimentiermaterial in der Beurteilung berücksichtigt werden. Dabei sehen die Lehrkräfte im Einsatz gefahrenreduzierter, intuitiv zu bedienender, weniger herausfordernder alternativer Experimentiermaterialien nur vereinzelt das Risiko einer potentiell von SchülerInnen wahrgenommenen Herabstufung ihrer Kompetenz. Mit Blick auf das Erleben von Kompetenz wesentlich häufiger kodiert wird stattdessen der Vorteil, dass alternative Materialien in den SchülerInnen, vor allem aufgrund der geringeren Folgenabschätzung, eine geringere Hemmschwelle beim Experimentieren auslösen, sie ihnen dadurch einen einfacheren Zugang zum

Experimentieren bieten und ihnen dadurch wiederum ein stärkeres Kompetenzerleben ermöglichen als klassisches Labormaterial, das vor allem experimentierschwächere SchülerInnen, auch aufgrund des insgesamt höheren Grads der Herausforderung, tendenziell überfordern kann. Nicht nur mit Blick auf das Autonomieerleben, sondern auch in Bezug auf das Kompetenzerleben von SchülerInnen in einer Experimentiersituation gehen die Lehrkräfte folglich von folgendem Zusammenhang aus:

Hypothese 5: SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial ein stärkeres Kompetenzerleben wahr als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial.

Unabhängig von der wahrgenommenen Anspannung oder Herausforderung beim Experimentieren oder der wahrgenommenen Authentizität der Materialien wird in *jedem* Interview zusätzlich die Kategorie *materialunabhängige Experimentierfreude* kodiert. Lehrkräfte beurteilen die Tatsache, überhaupt zu experimentieren, folglich als für die Freude und das Interesse der SchülerInnen an der konkreten Lernsituation am relevantesten. Trotz aller bislang aufgestellten Hypothesen zum Einfluss des Experimentiermaterials auf fachdidaktische Anforderungen an Experimente, wird davon ausgegangen, dass das Experimentiermaterial keinen Einfluss hat auf die Freude von SchülerInnen in und ihr Interesse an der konkreten Experimentiersituation. Folgende Hypothese wird angenommen:

Hypothese 6: Das Experimentiermaterial hat keinen Einfluss auf die empfundene Freude von SchülerInnen beim Experimentieren.

4.6 Limitationen

Studie I ist als eine erste fachdidaktische Auseinandersetzung mit vielzitierten Vorschlägen zum Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien zu werten, die relevante Aspekte beim Einsatz der Materialien herausarbeiten sollte; dabei möglichst im Vergleich zu etablierten klassischen Labormaterialien. Wie für qualitative Studien üblich,

gelten die dabei gewonnenen Ergebnisse für die befragte Stichprobe, die lediglich eine exemplarische Generalisierbarkeit zulässt (Wahl, Honig & Gravenhorst, 1982). So bestätigt sich die in der Stichprobenbeschreibung (s. Abschnitt 4.1) beschriebene und bei der Auswahl der Lehrkräfte bewusst berücksichtigte Vermutung, dass diese dem Einsatz alternativer Experimentiermaterialien sehr divers gegenüberstehen. Daher kommt in den Interviews, neben objektiven Erfahrungsberichten, stets auch ein Einfluss der persönlichen Einstellung der Lehrkräfte zum Tragen, die sich in ihrer jeweiligen Argumentation und damit in den Ergebnissen widerspiegelt. Nicht jede interviewte Lehrkraft würde demnach allen Einzelergebnissen dieser Untersuchung zustimmen. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse sich auch über die befragte Stichprobe hinaus reproduzieren lassen, da sowohl die Meinung Low-Cost-begeisterter, explizit Medizintechnik-begeisterter als auch sich skeptisch bis kritisch oder ablehnend äußernder Lehrkräfte und somit ein breites Meinungsbild erhoben wurde. Durch die Zuordnung von Einflüssen auf die verschiedenen fachdidaktischen Anforderungen zu den zugrundeliegenden Materialeigenschaften wurde außerdem versucht, trotz aller Subjektivität und Meinungsunterschiede der Lehrkräfte, den Untersuchungsgegenstand systematisch und dadurch objektiv und vollständig darzulegen. Auch aufgrund der Berücksichtigung verschiedener Schulformen und Altersklassen der Lehrkräfte kann insgesamt von einem *fairen* Materialvergleich ausgegangen werden, der ein möglichst umfassendes Bild des Forschungsgegenstandes abbildet. Nichtsdestotrotz müssen die Ergebnisse anhand einer größeren Stichprobe validiert werden, um allgemeingültige Aussagen treffen zu können. Bei entsprechend größerer Stichprobenzahl könnte dann über die Auszählung von Kategorienhäufigkeiten näher beleuchtet werden, welche von den Lehrkräften genannten Aspekte weniger allgemeingültig sind und welche eine demgegenüber höhere Relevanz haben. Ebenso überprüft werden müssen die aufgestellten Hypothesen zu Zusammenhängen zwischen dem Experimentiermaterial und seinem Einfluss auf die Wahrnehmung einer Experimentiersituation durch SchülerInnen. Da diese Überprüfung das primäre Ziel der zweiten, hier durchgeführten Studie ist, werden die Auswirkungen von Studie I auf Studie II im Folgenden zusammengefasst.

4.7 Auswirkungen der Ergebnisse auf Studie II

Wo wir uns noch nicht so klar waren [...]: Wie viel kann ich tatsächlich mit diesen Low-Cost-Materialien ersetzen? Was geht, was geht nicht? [...] Also das heißt, wenn sozusagen der pädagogische Nutzen klar ist, [...] dann glaube ich schon, dass man die Leute dafür begeistern könnte. (Interview 11)

Unter anderem aus der oben zitierten Forderung einer Lehrkraft zur Klärung des „pädagogischen Nutzens“ alternativer Experimentiermaterialien entstammt die Legitimation und Grundlage für die Folgestudie, in der eben jener pädagogische Nutzen in der Unterrichtspraxis evaluiert wird. Dazu werden die aus Studie I abgeleiteten und in Tabelle 13 noch einmal zusammengefassten Hypothesen der Lehrkräfte quantitativ überprüft.

Tabelle 13
Aus Studie I generierte Hypothesen als Ausgangspunkt für Studie II

| | abgeleitete Hypothese |
|------------|---|
| <i>H 1</i> | Das Experimentieren mit klassischem Labormaterial wird von SchülerInnen als herausfordernder wahrgenommen als das Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial. |
| <i>H 2</i> | Das Experimentiermaterial hat im Rahmen von Schülerexperimenten keinen Einfluss auf die Beobachtbarkeit des Experiments. |
| <i>H 3</i> | SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial ein stärkeres Autonomieerleben wahr als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial. |
| <i>H 4</i> | SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial eine stärkere Anspannung wahr als beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial. |
| <i>H 5</i> | SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial ein stärkeres Kompetenzerleben wahr als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial. |
| <i>H 6</i> | Das Experimentiermaterial hat keinen Einfluss auf die wahrgenommene Freude von SchülerInnen beim Experimentieren. |

Dabei fokussieren die formulierten Hypothesen primär allgemeine Grundvoraussetzungen des Lernens und ihre Beeinflussung durch die Materialvariable. Erst wenn diese Grundvoraussetzungen sichergestellt sind, können im Rahmen weiterführender Untersuchungen beispielsweise auch der Lernzuwachs und dessen Abhängigkeit vom jeweils eingesetzten Experimentiermaterial untersucht werden. Auch aus diesem Grund wurden Ergebnisse zum Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit von Versuchsaapparaturen an dieser Stelle noch nicht separat aufgegriffen. Sowohl die von Lehrkräften angenommene bessere Durchschaubarkeit und Beobachtbarkeit von Demonstrationsexperimenten mit klassischem Labormaterial als auch der Zusammenhang zwischen

der Durchschaubarkeit von Versuchsaufbauten und dem Einsatz von Stativmaterial, auch im Schülerexperiment, bieten jedoch ebenso lohnenswerte Anknüpfungspunkte für weiterführende Untersuchungen wie der Einfluss des Experimentiermaterials auf den kognitiven Fokus von SchülerInnen beim Experimentieren (s. Abschnitt 7.4).

5 Studie II – die Perspektive von SchülerInnen

In Erinnerung an die von Harvey und Green (1993) aufgestellte Qualitäts-Definition (s. Abschnitt 2.3) sind neben den Lehrkräften auch die experimentierenden SchülerInnen direkte NutzerInnen neuer Lehr-/ Lernmaterialien, hier Experimentiermaterialien. Ziel dieser zweiten Studie ist daher eine Beschreibung des Einflusses alternativer Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischer Labormaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an gelungene Experimente, diesmal aus der Perspektive der SchülerInnen. Zur Beantwortung von Forschungsfrage 2 wurde daher ein Feldtest durchgeführt, innerhalb dessen für den Chemieunterricht gängige Schülerexperimente in ihrer alternativen und klassischen Materialvariante praktisch durchgeführt wurden und anschließend die Wahrnehmung einer repräsentativen Stichprobe an SchülerInnen hinsichtlich der erlebten Experimentiersituation erhoben wurde. Dazu wurde sowohl auf Individual- als auch auf Klassenebene ein direktes Schülerfeedback (Lüdtke, Trautwein, Kunter & Baumert, 2005) eingeholt, innerhalb dessen die SchülerInnen die erlebte Experimentiersituation in Bezug auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment im Chemieunterricht beurteilten.

Das konkret umgesetzte Untersuchungsdesign wird in Abschnitt 5.1 beschrieben und die dabei jeweils eingesetzten Erhebungsinstrumente in Abschnitt 5.2 begründet. Nach einem sich anschließenden Abschnitt zur Auswahl der betrachteten Experimente und damit konkreten Materialien (Abschnitt 5.3) folgt die Beschreibung der Stichprobe (Abschnitt 5.4) sowie die Ergebnispräsentation unter Zusammenführung der Ergebnisse dieser zweiten Studie mit denen aus Studie I (Abschnitt 5.5). Das Kapitel schließt mit den Limitationen der zweiten Studie (Abschnitt 5.6).

5.1 Untersuchungsdesign

Die Untersuchung wurde im Rahmen des regulären Chemieunterrichts von insgesamt $N = 14$ Schulklassen durchgeführt. Alle in dieser Untersuchung berücksichtigten Experimente waren demnach thematisch eingebettet in den regulären Verlauf der Unterrichtsreihe der jeweils unterrichtenden Lehrkraft. Der Ablauf dieser zweiten Studie ist in Abbildung 8 schematisch dargestellt und wurde so mit jeder der teilnehmenden Klassen

durchgeführt. Jede Datenerhebung pro Klasse bestand dabei aus zwei Erhebungszeitpunkten, einer ersten Begleit- und einer Haupterhebung, die im Folgenden näher beschrieben werden.

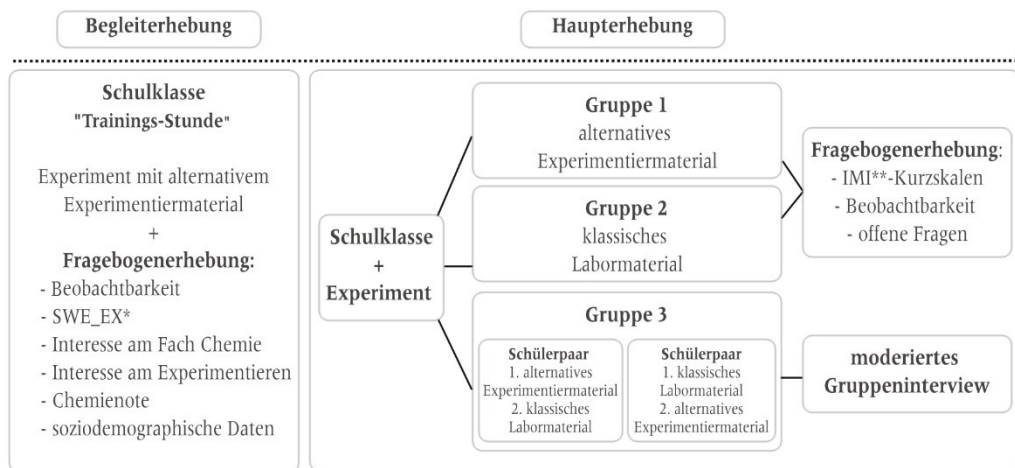


Abbildung 8. Design und Methoden zur Erhebung der Schülerperspektive.

*SWE_EX = Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren nach Schroedter & Körner (2012); IMI** = Intrinsic-Motivation-Inventary nach Deci & Ryan (2003).

Begleiterhebung

Während des ersten Erhebungszeitpunktes wurde mit jeder teilnehmenden Schulklasse eine Trainings-Stunde durchgeführt. Im Rahmen dieser Stunde haben alle SchülerInnen der jeweiligen Klasse ein Experiment mit alternativen Experimentiermaterialien durchgeführt. Dabei haben sie mit den Materialien gearbeitet, die auch in der darauffolgenden Chemiestunde der jeweiligen Klasse, der Haupterhebung, zum Einsatz kamen. Sinn und Zweck dieser Trainingsstunde war folglich, dass die SchülerInnen zum Zeitpunkt der Haupterhebung schon einmal mit den entsprechenden alternativen Materialien konfrontiert waren und mit ihnen hantiert haben, um einen fairen Vergleich zu bereits bekannten Labormaterialien zu ermöglichen. Dementsprechend wurde durch ein Vorgespräch mit der unterrichtenden Lehrkraft ebenso sichergestellt, dass die SchülerInnen in ihrem bisherigen Chemieunterricht auch mit den entsprechend klassischen Labormaterialien bereits vertraut sind. Im Anschluss an die Experimentierphase formulierten die SchülerInnen ihre Versuchsbeobachtungen. Dafür lag ihnen ein vorstrukturiertes Versuchsprotokoll vor, das in seiner Struktur dem in der Haupterhebung zum Einsatz kommenden Versuchsprotokoll entsprach. Um die Begleiterhebung abzuschließen, wurde mit jeder Klasse

am Stundenende eine Fragebogenerhebung durchgeführt. Die im Zuge dessen erhobenen Skalen sollen hier kurz erläutert werden:

Da bereits hinreichend gezeigt werden konnte, dass individuelle Schülervoraussetzungen wie die kognitiven Fähigkeiten, der Leistungsstand, das Fähigkeitsselbstkonzept, darunter die Selbstwirksamkeitserwartungen, sowie das Interesse maßgeblich die Schülerwahrnehmung einer Lernumgebung beeinflussen (Csikszentmihalyi & Schiefele, 1994; Seidel, Jurik, Häusler & Stubben, 2016; Zimmermann, 2000), erhob der begleitende Fragebogen die Chemienote als Maß für die Leistungsstärke der SchülerInnen, ihr Interesse am Fach Chemie, ihr Interesse am Experimentieren sowie die Selbstwirksamkeitserwartungen der SchülerInnen beim Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. Dabei kamen in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung gängige Skalen mit hohen Itemkonsistenzen zum Einsatz (Engeln, 2004; Fechner, 2009; Klos, 2008; Schroedter & Körner, 2012). Darüber hinaus enthielt das auszufüllende Versuchsprotokoll eine selbstentwickelte Skala zur Beurteilung der wahrgenommenen Beobachtbarkeit des durchgeführten Experiments (s. Abschnitt 5.2). Damit die SchülerInnen diese Beobachtbarkeit besser beurteilen konnten, wurden die zu machenden Versuchsbeobachtungen nach dem Protokollieren, aber vor der Herausgabe des Fragebogens von der Lehrkraft im Unterrichtsgespräch gesichert.

Haupterhebung

In der Folge-Chemiestunde der jeweiligen Klasse fand die Haupterhebung statt, in der der eigentliche Materialvergleich vorgenommen wurde. Dazu wurden die SchülerInnen der jeweiligen Klasse zu Stundenbeginn durch die Untersuchungsleitung in die Lage von Produkt-TesterInnen versetzt, die unterschiedliche Experimentiermaterialien auf ihre Eignung für den experimentellen Chemieunterricht testen sollen. Konkrete Bewertungskriterien wurden den SchülerInnen an dieser Stelle nicht vorgegeben, um ihre Aufmerksamkeit nicht von vornherein zu stark auf festgelegte Aspekte zu fokussieren, sondern Raum für diejenigen Schwierigkeiten und Vorzüge der Materialien zu lassen, die aus Schülerperspektive tatsächlich als relevant wahrgenommen werden. Die zu testenden Materialpools wurden den SchülerInnen gegenüber als *Material A* beziehungsweise *Material B* bezeichnet; die Begriffe „alternatives Material“ oder „Low-Cost-Material“ wurden ihnen gegenüber bewusst vermieden, um eventuelle Vorannahmen zu vermeiden.

Zur Prüfung der in Studie I aufgestellten Hypothesen wurde der Klassenverband nach der Vorstellung des Produkt-Tester-Settings, im Sinne einer experimentellen Felduntersuchung, randomisiert auf zwei Untersuchungsgruppen und damit die Bedingungen – *alternatives Experimentiermaterial* (A) beziehungsweise *klassisches Labormaterial* (B) – aufgeteilt. Indem *eine* Klasse halbiert und nicht etwa mit zwei Parallelklassen gearbeitet wurde, fand die Beurteilung beider Experimentvarianten in gleicher Umgebung, unter der gleichen Lehrkraft und damit unter gleichen Bedingungen statt. Nach entsprechender Einteilung auf beide Untersuchungsgruppen führten die SchülerInnen in Kleingruppen (à zwei bis drei SchülerInnen) dasselbe Experiment in der ihnen jeweils zugeteilten Materialvariante durch. Neben der Versuchsanleitung lag den SchülerInnen dazu ein aus der Begleiterhebung bereits bekanntes vorstrukturiertes Versuchsprotokoll vor, auf dem sie ihre Versuchsbeobachtungen schriftlich ausformulierten und die Beobachtbarkeit beurteilten. Um auch die Wahrnehmung der Experimentiersituation möglichst zeitnah und authentisch zu erheben, beantworteten die SchülerInnen direkt im Anschluss an die Versuchsdurchführung außerdem einen entsprechenden Fragebogen, auf den in Abschnitt 5.2 näher eingegangen wird.

Um über dieses experimentelle Setting hinaus auch ein tatsächlich *vergleichendes* Urteil der SchülerInnen zu beiden Materialpools zu erhalten, wurde zusätzlich eine dritte Untersuchungsgruppe gebildet: Pro Klasse wurden zwei sich freiwillig meldende Experimentierpaare ausgewählt, die dasselbe Experiment in *beiden* Materialvarianten durchführten; dabei in jeweils umgekehrter Reihenfolge, um Sequenz- und Übungseffekte zu reduzieren. Über das Kriterium der Freiwilligkeit hinaus wurde dabei nicht in die von der Lehrkraft vorgenommene Auswahl an SchülerInnen für diese letzte Untersuchungsgruppe eingegriffen; lediglich die Anwesenheit der SchülerInnen in der Trainingsstunde (bzw. Begleiterhebung) wurde vorausgesetzt. Um nicht nur auf Klassen-, sondern auch auf Individualebene ein Feedback der SchülerInnen zur Arbeit mit den jeweiligen Materialpools zu erhalten, wurde im Anschluss an die Experimentierphase mit beiden Experimentierpaaren gemeinsam ein moderiertes Gruppeninterview geführt (s. Abschnitt 5.2).

Um den Vergleich der Materialpools in allen drei Untersuchungsgruppen möglichst objektiv zu halten, fand die Haupterhebung in der Folge-Chemiestunde der jeweiligen Klasse statt, sodass Begleit- und Haupterhebung zeitlich nah beieinander lagen und davon ausgegangen werden kann, dass den SchülerInnen die Handhabung der für sie, im

experimentellen Kontext, neueren alternativen Experimentiermaterialien noch präsent war. Mit Hilfe des Produkt-Tester-Settings wurde außerdem versucht, die Interessantheit der Intervention für beide Materialpools möglichst gleich zu halten. Zur weiteren Steigerung der Objektivität des Materialvergleichs wurden sowohl die Experimentiermaterialien als auch die Versuchsanleitungen durch die Untersuchungsdurchführenden gestellt. Die Versuchsanleitungen für beide Materialpools (s. Anhang B) sind bis auf die Materialbezeichnungen und Versuchsskizzen in ihrer optischen und sprachlichen Gestaltung identisch gehalten und der Versuchsaufbau ist schrittweise formuliert, sodass die Experimente möglichst unabhängig von kognitiv-experimentellen Fähigkeiten, aber auch Lesefähigkeiten der SchülerInnen durchgeführt werden konnten. Auch dadurch, dass die SchülerInnen weder Hypothesen aufstellen, Experimente planen oder auswerten mussten, wurde der Fokus der SchülerInnen auf die Handhabung der Materialien und nicht auf den fachlichen Hintergrund des Experiments gelenkt. Dabei wurde die jeweils anwesende Lehrkraft gebeten, sich gegenüber den SchülerInnen mit Hinweisen zur Unterstützung des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung zurückzuhalten. Um während der Haupterhebung einen reibungslosen Ablauf gewährleisten zu können, wurden sowohl der zeitliche Ablauf der Untersuchung als auch die Experimentieranleitungen und Versuchsprotokolle zu allen betrachteten Experimenten im Rahmen einer unveröffentlichten Examensarbeit erprobt und unter Einbindung von SchülerInnen modifiziert.

Wie dem Schema in Abbildung 8 zu entnehmen ist, wurden alle drei Untersuchungsgruppen im Anschluss an die Experimentierphase mit qualitativen oder quantitativen Methoden befragt. Die Wahl der konkreten Methoden und Erhebungsinstrumente wird im Folgeabschnitt näher erläutert.

5.2 Methoden und Erhebungsinstrumente

Im Folgenden wird zunächst auf die Fragebogenerhebung mit Untersuchungsgruppe 1 und 2, anschließend auf die Interviewstudie mit Untersuchungsgruppe 3 eingegangen.

Fragebogenerhebung

Nachdem die Versuchsbeobachtung schriftlich ausformuliert wurde, beurteilten die SchülerInnen mit Blick auf die Gelungenheit der Experimente zunächst die Beobachtbarkeit der chemischen Vorgänge. Dazu wurden eigene Items entwickelt und im Rahmen der im vorherigen Abschnitt erwähnten Examensarbeit pilotiert (s. Anhang B). Bei der Itementwicklung wurde die Definition einer gelungenen Beobachtung als *vollständig, präzise, detailliert* sowie *unmittelbar* herangezogen (Pfeifer, Häußler & Lutz, 2002). Dabei ist zu erwähnen, dass das Trainingsexperiment aus der Begleiterhebung und das Experiment der Haupterhebung sehr ähnliche Beobachtungen verlangten (bspw. wurden beide Male Titrationsen mit jeweils unterschiedlichen Probe- und Maßlösungen durchgeführt, s. Abschnitt 5.3). Da die Beobachtungen in der Begleiterhebung von der Lehrkraft gesichert wurden, ist davon auszugehen, dass die SchülerInnen in der Haupterhebung eigenständig eine Beurteilung der Versuchsbeobachtung vornehmen konnten.

Neben der Beobachtbarkeit beurteilten die SchülerInnen der Untersuchungsgruppe 1 und 2 im Rahmen eines Fragebogens ihre subjektive Wahrnehmung der gerade erlebten Experimentiersituation. Der Fragebogen besteht unter anderem aus bereits existierenden Skalen mehrerer Einzeldimensionen tätigkeitsbezogener intrinsischer Motivation, die im Rahmen des *Intrinsic Motivation Inventory* (IMI) nach Deci und Ryan (2003) veröffentlicht wurden (s. Tabelle 14). Dabei konkret erhoben wurde zum einen das wahrgenommene Interesse an/ Vergnügen in der Experimentiersituation (*interest/ enjoyment*) als sogenannter Selbstberichtswert für die intrinsische Motivation beziehungsweise einzige Skala des Instruments, die die intrinsische Motivation von SchülerInnen direkt erhebt. Zum anderen wurden, entsprechend der aufgestellten Hypothesen aus Studie I, positive wie negative Prädikatoren intrinsischer Motivation erhoben: die wahrgenommene Anspannung/ der empfundene Druck in der Experimentiersituation (*felt pressure and tension*), die *perceived choice*-Skala als Skala für das theoretisch beschriebene

Autonomieerleben¹³ sowie das wahrgenommene Kompetenzerleben (*perceived competence*), das im Rahmen der Skala über die Zufriedenheit mit der eigenen Leistung und dem eigenen experimentellen Geschick operationalisiert ist. Aus testökonomischen Gründen wurde dabei auf erprobte Kurzskalen des Ursprungsinstruments zurückgegriffen (Wilde, Batz, Kovaleva & Urhahne, 2009). Alle Skalen beschreiben dabei gleichermaßen einzelne fachdidaktische Anforderungen an ein gelungenes Experiment. Außerdem erhoben wurde der von den SchülerInnen wahrgenommene Grad der Herausforderung, hier als Maß für die kognitive Aktivierung im Sinne der Anstrengung und des Nachdenkens beim Experimentieren (Engeln, 2004). Alle in Tabelle 14 beschriebenen Konstrukte des Fragebogens wurden von den SchülerInnen auf einer 5-stufigen Likert-Skala eingestuft; die konkreten Items können Anhang C, die Items zur Beobachtbarkeit Anhang B entnommen werden.

Tabelle 14

Definition und Ursprung der erhobenen Konstrukte zur Schülerwahrnehmung einer Experimentiersituation

| Konstrukt | Definition, hier angepasst an eine Experimentiersituation | Ursprung der Skala |
|-------------------------------------|---|---|
| wahrgenommene Herausforderung | Maß für die kognitive Aktivierung im Sinne der Anstrengung beim Experimentieren und des Nachdenkens über das Experiment | Engeln (2004) |
| wahrgenommene Beobachtbarkeit | Die Beobachtbarkeit eines Experiments ist gelungen, wenn sie <i>vollständig, präzise, detailliert</i> sowie <i>unmittelbar</i> wahrgenommen wird. Die Ergebnisqualität quantitativer Experimente wird mit der Skala nicht erhoben, sodass Hypothese 2 für Studie II stärker differenziert wird. | neu (s. Anhang B) |
| wahrgenommenes Autonomieerleben | Das eigene Handeln beim Experimentieren ist von einem Gefühl nach persönlicher Verursachung geprägt; man verfügt über das Entscheidungsrecht bei Handlungsalternativen und nimmt eine Wahlfreiheit wahr. | <i>Intrinsic Motivation Inventory</i> (IMI) nach Deci und Ryan (2003); Kurzskala nach Wilde et al. (2009) |
| wahrgenommene/ r Anspannung/ Druck | Negativer, angespannter Gefühlszustand in der Experimentiersituation. Oft ausgelöst in Situationen, in denen keine ausreichende Selbstbestimmung/ Autonomie wahrgenommen wird. | <i>Intrinsic Motivation Inventory</i> (IMI) nach Deci und Ryan (2003); Kurzskala nach Wilde et al. (2009) |
| wahrgenommenes Kompetenzerleben | Der Begriff „Kompetenz“ wird hier alltagssprachlich verwendet. Man erlebt sich als kompetent, wenn man mit der eigenen Leistung beim Experimentieren und dem eigenen experimentellen Geschick zufrieden ist. | <i>Intrinsic Motivation Inventory</i> (IMI) nach Deci und Ryan (2003); Kurzskala nach Wilde et al. (2009) |
| wahrgenommenes Interesse/ Vergnügen | Das empfundene Interesse an/ Vergnügen in der Experimentiersituation als Selbstberichtswert für die intrinsische Motivation | <i>Intrinsic Motivation Inventory</i> (IMI) nach Deci und Ryan (2003); Kurzskala nach Wilde et al. (2009) |

¹³ Das Autonomieerleben wird hier mit der Offenheit einer Lernsituation, hier einer Experimentiersituation, gleichgesetzt (s. Abschnitt 2.4.2.2).

Die im Rahmen dieses Ankreuzformats erhobenen quantitativen Daten wurden anschließend durch qualitative Daten ergänzt, indem die SchülerInnen in Form von Freitextfeldern – *offenen Fragen* – zusätzlich schriftlich ausformulierten, was ihnen an den Materialien, mit denen sie experimentiert haben, gut beziehungsweise nicht gut gefallen hat, welche Verbesserungsvorschläge sie geben würden und mit welchen Materialien sie in ihrem zukünftigen Chemieunterricht lieber arbeiten wollen würden und warum. Zur Einstufung dieser Materialpräferenz lagen jeder Schülerin/ jedem Schüler innerhalb des Fragebogens Bilder von alternativen Experimentiermaterialien im Vergleich zu ihrem jeweils klassischen Materialpendant vor, dabei auch Bilder von Materialien, die über das von ihnen konkret durchgeführte Experiment hinausgehen. Da die Entscheidungsfrage nach ihrer Materialpräferenz bewusst sehr zugespitzt ist, war die Antwortmöglichkeit **mir ist egal, mit welchen Materialien ich experimentiere* dabei stets gegeben (s. Anhang C).

Moderiertes Gruppeninterview

Die SchülerInnen der Untersuchungsgruppe 3 wurden während des Experimentierens im Unterricht möglichst unauffällig durch die Untersuchungsleitung beobachtet; die Interaktion zwischen den SchülerInnen und der Untersuchungsleitung oder der unterrichtenden Lehrkraft war stets möglich, wurde aber möglichst gering gehalten. Trotz dieser direkten Beobachtung wurden die Schülerpaare zusätzlich videographiert, um in der späteren Datenauswertung den Verlauf des in hohem Maße dynamischen Experimentierprozesses detailliert rekonstruieren und in konkreten Situationen die Handhabung verschiedener Materialien vergleichend beurteilen zu können. Nachdem die SchülerInnen das Experiment in beiden Materialvarianten durchgeführt haben, wurde mit beiden Experimentierpaaren gemeinsam ein Gruppeninterview als Methode zur qualitativen Datenerhebung geführt, das von der Untersuchungsleitung moderiert wurde. Der Vorteil eines Gruppeninterviews liegt darin, dass auf zeitökonomische Weise die subjektiven Einstellungen, Urteile, Interessensvorstellungen und Bedeutungsstrukturen mehrerer Personen, hier SchülerInnen, simultan erhoben werden können und so ein möglichst breites Meinungsbild einer *Realgruppe* mit „einer gemeinsamen Interaktionsgeschichte im Hinblick auf den Diskussionsgegenstand“ (Nießen, 1977, S. 66) festgehalten werden kann. Mit Blick auf eine produktive Gesprächsbasis liegt ein weiterer Vorteil des Gruppeninterviews darin, dass ein Gespräch unter MitschülerInnen potentielle Hemmungen eher aufheben kann als eine

Einzelinterview-Situation und so ein authentisches Gespräch unter aktiver Beteiligung aller Teilnehmenden angeregt werden kann. Dies gilt vor allem in Bezug auf Kritik an den jeweiligen Experimentiermaterialien, die aufgrund einer vermeintlich sozialen Erwünschtheit gegenüber der Untersuchungsleitung, ohne die Eingebundenheit in eine Gruppe, eventuell kaum geäußert worden wäre (Mayring, 2016).

Das Gruppeninterview war ebenso leitfadengestützt und problemorientiert angelegt wie die Interviews aus Studie I (s. Abschnitt 4.2). Methodisch wird dabei oftmals von einem *Fokusgruppeninterview* gesprochen, das auch in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung als gängige Methode zur Erhebung von Schülerperspektiven beschrieben wird (Billmann-Mahecha & Gebhard, 2014). Der Grundreiz dieses handlungsnahen Interviews lag in der gerade erlebten Situation, bezüglich derer die SchülerInnen zunächst ihre Gedanken und Erfahrungen im Sinne eines Gesamteindrucks frei äußern konnten. Auch der an den natürlichen Gesprächsverlauf angepasste Interviewleitfaden ähnelt inhaltlich dem der Interviews mit den Lehrkräften, variiert hingegen in einer an die Untersuchungsgruppe angepassten sprachlichen Ausgestaltung der Fragen und verzichtet auf organisatorische Rahmenbedingungen und Einsatzmöglichkeiten. Der Fokus des Gruppeninterviews lag folglich auf noch stärker *didaktisch* relevanten Aspekten wie der Handhabung der Materialien, der Versuchsbeobachtung und den Präferenzen der SchülerInnen beim Experimentieren mit den jeweiligen Materialien. Zum Autonomieerleben wurde den SchülerInnen indes keine direkte Frage gestellt, da dieses als für SchülerInnen zu schwierig einzuschätzen eingestuft wurde. Die Verständlichkeit der Fragen innerhalb des Leitfadens wurde ebenfalls in der bereits genannten Pilotstudie erprobt und angepasst, auch hier unter Einbezug von SchülerInnen. Damit diese sich während des Interviews leichter auf die jeweiligen Materialien berufen konnten, lagen ihnen während des Interviews sowohl die alternativen Experimentiermaterialien als auch die klassischen Labormaterialien des gerade durchgeführten Experiments erneut vor. Auf Widersprüche in den Aussagen der SchülerInnen wurde durch die Gesprächsleitung an entsprechenden Stellen eingegangen und Freiraum für Aushandlungsprozesse gegeben; so beschreibt Flick (2017) den Vorteil einer Korrektur der Gruppe als Mittel der Validierung. Dabei konnte die Gesprächsleitung aufgrund ihrer Unterrichtsbeobachtungen während der Versuchsdurchführung stets auf konkrete Ereignisse Bezug nehmen. Außerdem wurde durch die Interviewführung stets darauf geachtet, dass alle SchülerInnen zu allen gegenstandsrelevanten Leitfragen ihre Meinung äußern, um im Anschluss eine personenbezogene Auswertung

der Interviews realisieren zu können. Aufgrund einer entsprechenden Vorerhebung (Bögge & Lühken, 2021) war die Gesprächsleitung im Führen solch leitfadengestützter Gruppeninterviews bereits geschult. Das Gesprächsende bestand aus einer begründeten Positionierung der SchülerInnen zu der von ihnen präferierten Materialvariante des durchgeführten Experiments. Diese gewollte Fokussierung dient als interne Validierung der getätigten Aussagen. Abschließend hatten die SchülerInnen die Möglichkeit für individuelle Anmerkungen.

Die Auswahl der Experimente, mit denen die Untersuchung umgesetzt wurde, wird im folgenden Abschnitt erläutert.

5.3 Experiment- und Materialauswahl

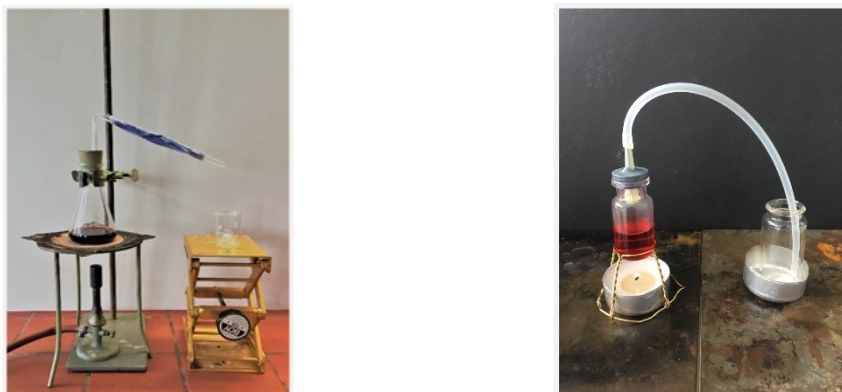
Die zweite Studie wurde mit insgesamt fünf Schülerexperimenten durchgeführt. Dadurch kann die Generalisierbarkeit der Ergebnisse erhöht und der Einfluss des Fachinhalts eines konkreten Experiments auf die Beurteilung durch die SchülerInnen reduziert werden. Bei der Auswahl der Experimente wurde berücksichtigt, dass sie eine hohe curriculare Bedeutung haben und sich auf verschiedene Klassenstufen aufteilen, sodass die Ergebnisse für eine im Alter breiter gefächerte Stichprobe gelten. Außerdem wurden die Experimente so gewählt, dass durch ihre Versuchsaufbauten eine möglichst große Bandbreite alternativer beziehungsweise klassischer Experimentiermaterialien abgedeckt werden kann. Um dabei einen tatsächlichen *Materialvergleich* realisieren zu können, musste bei der Experimentauswahl vorausgesetzt werden, dass sie mit einer durchschnittlich ausgestatteten Schulsammlung in klassischer Variante realisiert werden können, für die eine Low-Cost-Variante aber gegebenenfalls einen adäquaten Ersatz darstellen könnte. *Nicht* betrachtet werden in dieser zweiten Studie folglich Apparaturen, die aufgrund ihrer hohen Sensibilität und/ oder ihren Anschaffungs- und Wartungskosten ohne eine entsprechende Low-Cost-Variante kaum oder gar keinen Einzug in den Schulunterricht finden würden, darunter Low-Cost-Gaschromatographen (Kappenberg, 1998), Low-Cost-Photometer (Witte et al., 2019) oder der bereits zitierte Low-Cost-Hofmann'sche Zersetzungsapparat (Borstel & Böhm, 2006). Um im Rahmen der Datenauswertung eindeutige Ergebnisse erzielen zu können, musste vorab außerdem sichergestellt sein, dass sich die Angaben der SchülerInnen im Fragebogen oder deren Aussagen im Interview explizit auf *einen* der

beiden Materialpools beziehen. Daher wurde bei der Planung der Experimente bewusst darauf geachtet, dass sich ihre Versuchsaufbauten *vollständig* aus Materialien *eines* Materialpools realisieren lassen und es zu keiner Vermischung von Materialien beider Kontexte innerhalb eines experimentellen Aufbaus kommt. Die alternative Variante eines Experiments besteht demnach – mit Ausnahme einzelner klassischer Hilfsmittel (z.B. Reagenzglasständer, Spatel) – vollständig aus alternativen Experimentiermaterialien, die klassische Variante entsprechend vollständig aus klassischem Labormaterial. Folgende fünf Schülerexperimente wurden dementsprechend ausgewählt:

Experiment I – Destillation eines Alkohol-Wasser-Gemisches

Die Destillation ist ein klassisches und das wichtigste Trenn- und Aufreinigungsverfahren flüssiger Substanzen, das nach hessischem Kerncurriculum in der Sekundarstufe I behandelt wird. Die Klassen der hier angelegten Untersuchung, mit denen Experiment I durchgeführt wurde, befanden sich in Jahrgangsstufe 7 oder 8 und behandelten das Verfahren der Destillation im Rahmen einer Unterrichtsreihe zu Stofftrennmethoden. Die dazu verwendete alternative beziehungsweise klassische Destillationsapparatur ist in Abbildung 9 dargestellt; die Variante aus alternativem Experimentiermaterial orientiert sich dabei an einem bereits zitierten Vorschlag von El-Marsafy et al. (2011). Bei der Wahl dieses Vorschlags sei daran erinnert, dass ebenfalls als *Low-Cost* bezeichnete Destillationen in Reagenzgläsern (Obendrauf, 1996b) weiterhin auf klassisches Labormaterial zurückgreifen und damit nicht der in dieser Studie angelegten Arbeitsdefinition für alternative Experimentiermaterialien entsprechen. Im Rahmen dieses ersten Experiments wurden folglich die in Abbildung 9 dargestellten Versuchsaufbauten und Materialien vergleichend gegenübergestellt. Für eine bessere Vergleichbarkeit beider Materialvarianten wurde auch in der klassischen Variante auf ein Thermometer und einen Liebigkühler verzichtet; der Rotwein wurde jedem Schülerpaar in beiden Varianten in Kunststoffflaschen zur Verfügung gestellt. Experimentelle Unterschiede in beiden Materialvarianten liegen vor allem in der Länge des Weges zur Kondensation des Ethanol-Dampfes und in der verwendeten Substanzmenge (50 ml bzw. 3 ml eines Rotweins, dessen Alkoholanteil auf 20 Vol.-% erhöht wurde). Eine gelungene Beobachtung des Experiments umfasst das Sieden des Rotweins, das Kondensieren einer farblosen Flüssigkeit im Glasrohr beziehungsweise im Silikon Schlauch, das Eintropfen eines farblosen Destillats in die Vorlage, der Verbleib einer rötlich gefärbten Flüssigkeit im linken Gefäß (Erlenmeyerkolben bzw. Ampullenglas) sowie

eine positive Brennprobe zur Prüfung der Qualität des Trennungsvorgangs. Das Ende der Destillation wurde in beiden Materialvarianten über die Angabe einer Destillatmenge [cm] vorgegeben; die Brennprobe wurde in der klassischen Materialvariante in einem Porzellantiegel, in der alternativen Materialvariante in einer zweiten Teelichthülle durchgeführt (in Abbildung 9 nicht dargestellt).



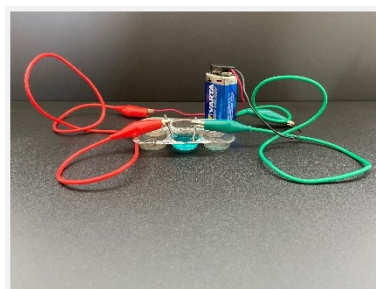
| Klassisches Labormaterial | Alternatives Experimentiermaterial |
|--|--|
| Bunsenbrenner | Teelicht |
| Dreifuß mit Drahtnetz | Agraffe |
| Erlenmeyerkolben und Becherglas | Ampullengläser |
| durchbohrter Gummistopfen | von einer Eppendorf-Pipettenspitze durchbohrter Gummistopfen |
| gebogenes Glasrohr | Silikonschlauch |
| angefeuchtetes Papiertuch (Kühlung) | mit Wasser befüllte Teelichthülle (Kühlung) |
| Porzellantiegel (Brennprobe) | Teelichthülle (Brennprobe) |
| - | Kunststoffpipette (Befüllen des Ampullenglases mit Rotwein) |
| Hebebühne | - |
| Stativmaterial (Stativ, Muffe, Klemme) | - |

Abbildung 9. Vereinfachte Destillationsapparatur mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (rechts).

Experiment II – Elektrolyse einer Kupfer(II)-sulfat-Lösung

Als ein inhaltlicher Schwerpunkt des hessischen Kerncurriculums für die Sekundarstufe I sind *Reaktionen von Ionen* vorgegeben, häufig in Jahrgangsstufe 9 gezeigt an Beispielen zur Elektrolyse wässriger Metallhalogenid-Lösungen. Auch in dieser Untersuchung wurde Experiment II mit drei Klassen der 9. Jahrgangsstufe durchgeführt, wobei in diesem Fall die Elektrolyse einer wässrigen Kupfer(II)-sulfat-Lösung gewählt wurde, da diese, anders als beispielsweise die Chlorgas freisetzende Elektrolyse von Kupfer(II)-chlorid, auch als Schülerexperiment in Kleingruppen von zwei bis drei SchülerInnen durchführbar ist. Die sich hier gegenüberstehenden Versuchsaufbauten sind in Abbildung 10 dargestellt; nicht abgebildet sind ein Spatel und eine mit destilliertem Wasser gefüllte Spritzflasche, die den SchülerInnen in beiden Varianten als Hilfsmittel zur Verfügung standen, um pulverförmiges Kupfer(II)-sulfat zunächst zu lösen. Neben den verwendeten

Materialien unterscheiden sich beide Varianten rein experimentell in der anzusetzenden Menge der Kupfer(II)-sulfat-Lösung (50 ml bzw. 1,5 ml) sowie der Tatsache, dass der Versuch in der klassischen Variante erst nach Einschalten der Spannungsquelle beginnt, wohingegen die Elektrolyse in der Variante mit alternativem Experimentiermaterial unmittelbar nach Eintauchen der Bleistift- oder Zirkelminen in die Kupfer(II)-sulfat-Lösung einsetzt. Bei der Auswahl der Blockbatterien im Low-Cost-Experiment wurde berücksichtigt, dass Plus- und Minuspol deutlich gekennzeichnet sind. Von SchülerInnen zu beobachten ist eine Gasentwicklung (Sauerstoff) am Pluspol beziehungsweise an der Anode sowie die Abscheidung eines rötlich-braunen Feststoffs (Kupfer) am Minuspol beziehungsweise der Kathode.



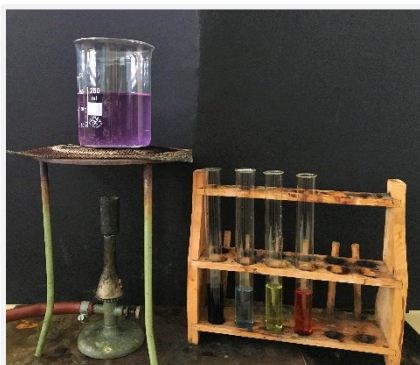
| Klassisches Labormaterial | Alternatives Experimentiermaterial |
|--|---|
| Spannungsquelle | 9V-Blockbatterie + Batterieclip |
| 2 Kabel + 2 Krokodilklemmen | 2 Kabel (Krokodilklemmen sind bereits integriert) |
| Becherglas | Blisterpackung |
| 2 Kohlelektroden | 2 Bleistift- oder Zirkelminen |
| Stativmaterial (Stativ, 2 Muffen, 2 Klemmen) | |

Abbildung 10. Versuchsaufbau einer Elektrolyse mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (rechts).

Experiment III – pH-Wert-Bestimmung

Säure-Base-Indikatoren werden in der Sekundarstufe I eingeführt, um – dem Kerncurriculum entsprechend – Eigenschaften und chemische Reaktionen alltagsrelevanter Stoffe zu identifizieren. Dabei können die SchülerInnen anhand des Umschlagspunktes die Abhängigkeit der Farbigkeit einer Indikator-Lösung vom pH-Wert einer Probelösung interpretieren. Das hier durchgeführte Experiment wurde mit zwei Klassen der Jahrgangsstufe 8 und einer Klasse der Jahrgangsstufe 9 durchgeführt. Die SchülerInnen mussten in einem ersten Schritt Rotkohlsaft als natürlichen Indikator selbst herstellen und anschließend zu üblichen Haushaltschemikalien oder Lebensmittel-Lösungen zugeben, die in

Reagenzgläsern beziehungsweise Aushöhlungen einer Blisterpackung vorgelegt werden mussten (bspw. Essigessenz, Zitronensaft, Leitungswasser, Rohrreiniger); bei der Wahl der Blister wurden daher möglichst breite und tiefe Verpackungen gewählt. Von den SchülerInnen zu beobachten waren die Farbänderungen der Indikator-Lösung nach Zugabe zur jeweiligen Probe-Substanz, da die farblichen Unterschiede im weiteren Verlauf der Unterrichtsreihe zur Einführung der pH-Skala genutzt werden sollten. Für die pH-Wert-Bestimmung verschiedener Probelösungen mit Hilfe eines Rotkohllindikators standen sich in dieser Untersuchung die in Abbildung 11 dargestellten Aufbauten und Materialien vergleichend gegenüber. Auch hier nicht dargestellt sind ein Stabfeuerzeug, eine Kunststoffpipette, ein Spatel sowie eine mit Wasser gefüllte Spritzflasche, die den SchülerInnen in beiden Varianten als Hilfsmittel zur Verfügung standen, um die jeweilige Heizquelle zu entzünden, Rotkohlsaft zu überführen und pulverförmige Probesubstanzen zunächst zu lösen.



| Klassisches Labormaterial | Alternatives Experimentiermaterial |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Bunsenbrenner | Teelicht |
| Dreifuß mit Drahtnetz | Agraffe |
| Becherglas | Ampullenglas |
| Reagenzglasständer und Reagenzgläser | Blisterpackung |

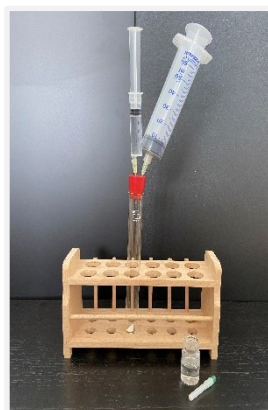
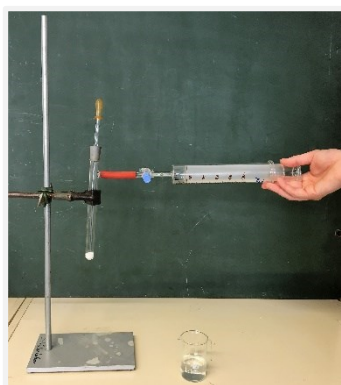
Abbildung 11. Versuchsaufbau zur Herstellung eines Rotkohllindikators und dessen Anwendung mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (rechts).

Anmerkung. Die in beiden Varianten mit einer Schere zerkleinerten Rotkohlreste wurden für die Fotos aus dem Becherglas beziehungsweise Ampullenglas entfernt; die unterschiedliche Farbigkeit der Indikator-Lösung ist auf den jeweils eingesetzten Rotkohl zurückzuführen.

Experiment IV – Gasentwicklung und -nachweis

Die Entwicklung und der Nachweis von Kohlenstoffdioxid wurde im Rahmen dieser Untersuchung in Jahrgangsstufe 8 durchgeführt. Die SchülerInnen lösten eine handelsübliche Brausetablette, indem sie Wasser durch eine Glas-Pipette (klassische Variante) oder eine aufgesetzte Kunststoffspritze (alternative Variante) in ein Reagenzglas gaben (s.

Abbildung 12). Während dieses Experiments arbeiteten die SchülerInnen in beiden Materialvarianten mit einem dem klassischen Materialpool zuzuordnenden Reagenzglas; anders als im Beispiel der Destillationsapparatur (Experiment I) stellt ein Ampullenglas als Gefäß zur Gasentwicklung hier jedoch keine Alternative dar. Im Anschluss an die Gasentwicklung zogen die SchülerInnen das entstandene Gas in einem Kolbenprober beziehungsweise einer zweiten Kunststoffspritze auf. Um den Aspekt der Skalenlesbarkeit in den Materialvergleich aufnehmen zu können, lasen die SchülerInnen die entstandene Menge Gas zusätzlich ab und leiteten das Kohlenstoffdioxid-Gas in eine wässrige Calciumhydroxid-Lösung (Kalkwasser) ein. Im Rahmen des Gasentwicklers mit alternativem Experimentiermaterial musste dazu die entsprechend mit Gas befüllte Spritze von der Kanüle des Gasentwicklers gelöst und eine neue Kanüle aufgesetzt werden. Es sei angemerkt, dass den SchülerInnen die Konstruktion aus Weichgummistopfen mit zwei durchgestoßenen Kanülen bereits vorgefertigt zur Verfügung gestellt wurde; dabei ist beim Durchstoßen der Kanülen zu beachten und zu prüfen, dass deren Kanäle nicht verstopfen. Neben dem Schäumen der Brausetablette war von den SchülerInnen die Menge entstandenen Gases an der jeweiligen Skala abzulesen sowie eine Trübung des vorher klaren Kalkwassers nach Einleiten des Gases zu beobachten. Das Kalkwasser stand beiden Schülergruppen gleichermaßen in Kunststoffflaschen zur Verfügung, einander gegenüber stehen sich in beiden Versuchsaufbauten hingegen die in Abbildung 12 dargestellten Experimentiermaterialien.

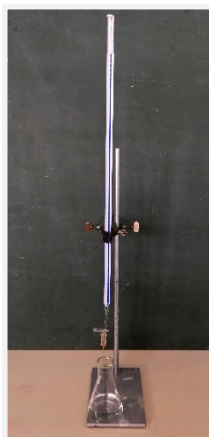


| Klassisches Labormaterial | Alternatives Experimentiermaterial |
|--|-------------------------------------|
| Reagenzglas mit seitlichem Ansatz | Reagenzglas |
| durchbohrter Gummistopfen | Gummistopfen |
| Glaspipette mit Pipettenhütchen | Kunststoffspritze (5 ml) |
| Schlauchstück | 3 Kanülen |
| Kolbenprober | Kunststoffspritze (60 ml) |
| Bechergläser (Wasser, Kalkwasser) | Ampullengläser (Wasser, Kalkwasser) |
| Stativmaterial (Stativ, Muffe, Klemme) | Reagenzglasständer |

Abbildung 12. Gasentwickler zur Entwicklung und zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise rechts mit alternativem Experimentiermaterial nach Obendrauf (1996).

Experiment V – die Titration

Die Titration als klassisches maßanalytisches Verfahren ist eines der wenigen *quantitativen* Schülerexperimente und wird üblicherweise, ebenso in dieser Untersuchung, in Jahrgangsstufe 10 behandelt. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchung wurde die Titration einer starken Base (verdünnte Natronlauge als Maßlösung) mit einer starken Säure (verdünnte Salzsäure als Probelösung) und Bromthymolblau als Säure-Base-Indikator durchgeführt. Auch hier besteht der maßgebliche Unterschied der klassischen und alternativen Experimentvariante, neben den verwendeten Materialien, vor allem in der benötigten Chemikalienmenge; so wurde für die Titration mit alternativem Experimentiermaterial lediglich eine 1 ml-Spritze verwendet. Probe- und Maßlösungen lagen jedem Experimentierpaar in Kunststoffflaschen vor, die Indikator-Lösungen wurden in Tropffläschchen zur Verfügung gestellt. Anders als bei den bislang beschriebenen Schülerexperimenten muss bei einer Titration nicht nur der unmittelbar beobachtbare Umschlagspunkt des Indikators erfasst, sondern auch objektive Messdaten dokumentiert werden. Die Gelungenheit des Experiments liegt hier demnach auch in der Qualität des Versuchsergebnisses im Sinne einer Genauigkeit des Messergebnisses und ist damit deutlich stärker auch von der experimentellen Kompetenz der SchülerInnen beeinflusst als die rein qualitativen Phänomene der Experimente I- III und des primär qualitativen Experiments IV. Die Versuchsaufbauten der Titration mit alternativem Experimentiermaterial und klassischem Labormaterial sind in Abbildung 13 dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass den teilnehmenden SchülerInnen das Arbeiten mit Peleusbällen und Messpipetten nicht vertraut war, sodass das Abmessen der Probelösung in der klassischen Materialvariante über einen Messzylinder erfolgt. Diesbezüglich sei darauf hingewiesen, dass den teilnehmenden SchülerInnen das Arbeiten mit Peleusbällen nicht vertraut war, sodass das Abmessen der Probelösung in der klassischen Materialvariante über einen Messzylinder erfolgt.



| Klassisches Labormaterial | Alternatives Experimentiermaterial |
|---|--|
| Erlenmeyerkolben | Ampullenglas |
| Bürette | Spritze (1 ml) |
| Stativmaterial (Stativ, Muffe, Klemme) | Kanüle |
| Zur Vorbereitung: Trichter (Befüllen der Bürette), Messzylinder (Abmessen der Probelösung) | Zur Vorbereitung: eine zweite 1 ml-Spritze inklusive einer Kanüle (Befüllen des Ampullenglases) |

Abbildung 13. Versuchsaufbau einer Titration mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (rechts).

5.4 Stichprobenbeschreibung

Die Untersuchung wurde mit insgesamt 14 Klassen durchgeführt, darunter zwölf Gymnasialklassen, eine Realschulklasse einer integrierten Gesamtschule (Klassenstufe 8) sowie eine 8. Klasse einer integrierten Gesamtschule. Jedes der Experimente I- V wurde mit jeweils drei Schulklassen durchgeführt, ausgenommen Experiment IV zur Gasentwicklung und dessen Nachweis, das aufgrund organisatorischer Entwicklungen an einer der teilnehmenden Schulen letztendlich mit nur zwei statt ursprünglich geplanter drei Schulklassen durchgeführt werden konnte. Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, wurden die Klassen entsprechend der gängigen curricularen Einbettung des jeweiligen Experiments ausgewählt. Weiterhin beschrieben wird die Stichprobe anhand der im Rahmen der Begleiterhebung erhobenen Daten (s. Tabelle 15, Tabelle 16).

Tabelle 15

Stichprobenbeschreibung für Untersuchungsgruppe 1 und 2 (quantitative Datenerhebung und offene Fragen)

| | N_{gesamt} | Geschlecht | | Alter | Note Chemie | Interesse Chemie* | Interesse Exp.* | SWE_EX* |
|--------------------|---------------------|------------|-----|-------|-------------|-------------------|-----------------|---------|
| | | w | m | | | | | |
| Cronbachs α | | | | | | 0,79 | 0,72 | 0,87 |
| Experiment I | 45 | 23 | 22 | 12,7 | 2,4 | 3,85 | 3,75 | 3,90 |
| Experiment II | 47 | 22 | 25 | 15,7 | 2,8 | 3,72 | 3,76 | 3,94 |
| Experiment III | 56 | 20 | 36 | 14,0 | 2,0 | 4,25 | 3,76 | 4,01 |
| Experiment IV | 42 | 24 | 18 | 13,5 | 1,9 | 4,17 | 3,78 | 3,87 |
| Experiment V | 47 | 18 | 29 | 15,7 | 2,8 | 3,56 | 3,63 | 4,05 |
| gesamt | 237 | 107 | 130 | 14,3 | 2,4 | 3,91 | 3,74 | 3,95 |

Anmerkung. *Für Experiment I- V sind Mittelwerte einer 5pt.-Likert-Skala (1- 5) angegeben; die Werte für Cronbachs α beziehen sich auf die Gesamtstichprobe inklusive der SchülerInnen aus Untersuchungsgruppe 3 ($N = 293$). Interesse Exp. = Interesse am Experimentieren, SWE_EX = Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren.

Tabelle 16

Stichprobenbeschreibung für Untersuchungsgruppe 3 (rein qualitative Datenerhebung)

| | N_{gesamt} | Geschlecht | | Alter | Note Chemie | Interesse Chemie* | Interesse Exp.* | SWE_EX* |
|--------------------|---------------------|------------|----|-------|-------------|-------------------|-----------------|---------|
| | | w | m | | | | | |
| Cronbachs α | | | | | | 0,79 | 0,72 | 0,87 |
| Experiment I | 12 | 4 | 8 | 13,6 | 2,4 | 4,58 | 4,06 | 4,33 |
| Experiment II | 12 | 6 | 6 | 15,8 | 1,8 | 4,08 | 4,1 | 4,39 |
| Experiment III | 12 | 4 | 8 | 13,6 | 1,6 | 4,75 | 4,23 | 4,29 |
| Experiment IV | 8 | 3 | 5 | 13,3 | 1,9 | 4,81 | 4,36 | 4,29 |
| Experiment V | 12 | 4 | 8 | 15,9 | 2,8 | 3,54 | 3,9 | 4,32 |
| gesamt | 56 | 21 | 35 | 14,4 | 2,1 | 4,35 | 4,13 | 4,32 |

Anmerkung. *Für Experiment I- V sind Mittelwerte einer 5pt.-Likert-Skala (1- 5) angegeben; die Werte für Cronbachs α beziehen sich auf die Gesamtstichprobe inklusive der SchülerInnen aus Untersuchungsgruppe 1 und 2 ($N = 293$). Interesse Exp. = Interesse am Experimentieren, SWE_EX = Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren.

Für alle verwendeten Skalen konnten hohe interne Item-Konsistenzen von $> 0,7$ festgestellt werden, was auf eine valide Messung hinweist (Schmitt, 1996). Einbezogen wurden dabei lediglich vollständige Datensätze; außerdem wurden nur Daten derjenigen SchülerInnen ausgewertet, die sowohl in der Begleit- als auch der Haupterhebung anwesend waren. Aufgeteilt auf die jeweiligen Experimente I- V beschreibt Tabelle 15 den Teil der SchülerInnen, der an der quantitativen Datenerhebung teilgenommen hat (Untersuchungsgruppe 1 und 2), Tabelle 16 wiederum beschreibt den Teil der Stichprobe, der die Experimente in beiden Materialvarianten durchgeführt hat und im Rahmen des Gruppeninterviews als Methode der qualitativen Datenerhebung befragt wurde (Untersuchungsgruppe 3). Die Zuordnung von an der Begleiterhebung teilnehmenden SchülerInnen zu den Untersuchungsgruppen im Rahmen der Haupterhebung gelang mit Hilfe von verschlüsselten Schülercodes; in der Haupterhebung gaben die SchülerInnen im Fragebogen

außerdem an, ob sie mit Material A (alternatives Experimentiermaterial) oder Material B (klassisches Labormaterial) experimentiert haben.

Insgesamt zeigen die teilnehmenden SchülerInnen ein eher hohes Interesse am Fach Chemie und am Experimentieren im Chemieunterricht; auch ihre Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren schätzen die SchülerInnen eher hoch ein. Die Leistung im Fach Chemie kann für die Gesamtstichprobe als *gut* eingestuft werden. Dass die Werte in Untersuchungsgruppe 3 vergleichsweise etwas höher ausfallen, kann darauf zurückgeführt werden, dass die Auswahl der entsprechenden SchülerInnen, neben dem Kriterium der Anwesenheit in der Begleiterhebung, rein über das Kriterium der Freiwilligkeit festgelegt wurde und sich dabei vermutlich eher interessierte SchülerInnen mit guten Leistungen im Fach Chemie meldeten.

5.5 Ergebnisse

Das folgende Kapitel stellt die Ergebnisse dieser zweiten Studie vor. Dabei werden in Abschnitt 5.5.1 zunächst die Ergebnisse der quantitativen Fragebogenerhebung zur Prüfung der aus Studie I abgeleiteten Wirkhypothesen zwischen dem Experimentiermaterial als unabhängige Variable und der subjektiven Wahrnehmung der Experimentiersituation als abhängige Variable dargestellt (Forschungsfrage 2.1). Im Anschluss daran werden in Abschnitt 5.5.2 die Ergebnisse der qualitativen Datenerhebungen, das heißt der Gruppeninterviews sowie der offenen Fragen aus den Fragebögen, beschrieben. Um das Potential des Mixed-Method-Designs zu nutzen, werden die Ergebnisse der qualitativen Erhebung in Abschnitt 5.5.3 in die Ergebnisse der quantitativen Erhebung integriert. Auf diese Weise dienen die Daten der gegenseitigen Ergänzung und Erläuterung (Forschungsfrage 2.2). In Abschnitt 5.6 schließt das Kapitel mit den Limitationen zu Studie II.

5.5.1 Ergebnisse der Hypothesentests (quantitative Daten, QUAN)

Bevor die Fragebogenergebnisse inhaltlich ausgewertet wurden, wurde die Qualität der in der Haupterhebung verwendeten Messskalen geprüft. Das Ergebnis dieser Prüfung wird im Folgenden kurz skizziert.

Reliabilität und Validität der Messskalen

Tabelle 17 zeigt die erhobenen Konstrukte gemeinsam mit dem jeweils für die Stichprobe (Untersuchungsgruppe 1 und 2) berechneten Cronbachs α . Dabei liegen nahezu alle Werte über dem Schwellenwert von 0,7, was auf eine gute interne Konsistenz der Items einer Skala und damit eine hohe Reliabilität der Skalen hinweist (Schmitt, 1996). Lediglich für die Skala zur Messung der wahrgenommenen Herausforderung ist der ermittelte Wert kleiner als der Schwellenwert. Diese Schwierigkeit mit der Skala ist bereits in anderen etablierten, fachdidaktischen Studien aufgetreten (z.B. Engeln, 2004). Da die Skala auch dort mit ähnlich niedrigen Werten weiter verwendet wurde, wird auch hier entsprechend weitergerechnet und die Ergebnisse beibehalten.

Tabelle 17
Skalen-Reliabilität der in der Haupterhebung erhobenen Konstrukte

| Konstrukt (abhängige Variable) | Cronbachs α |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| wahrgenommene Herausforderung | 0,48 |
| wahrgenommene Beobachtbarkeit | 0,84 |
| wahrgenommenes Autonomieerleben | 0,82 |
| wahrgenommene/r Anspannung/ Druck | 0,78 |
| wahrgenommenes Kompetenzerleben | 0,83 |
| wahrgenommenes Interesse/ Vergnügen | 0,89 |

Auch aufgrund der starken inhaltlichen Zusammenhänge der gemessenen Konstrukte wurde in einem nächsten Schritt überprüft, ob sich die Messungen der einzelnen Konstrukte dennoch voneinander unterscheiden. Zur Prüfung dieser Diskriminanzvalidität wurde eine Faktoranalyse aller im Fragebogen verwendeten Items mit Promaxrotation und Kaiser-Normalisierung durchgeführt. Dabei sind alle Voraussetzungen für eine Hauptkomponentenanalyse erfüllt: Das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium liegt bei 0,755; der Bartlett-Test ist hochsignifikant ($p < .001$), was – wie aufgrund ihrer inhaltlichen Beziehung zu erwarten – auf eine hohe Korrelation zwischen den Items der abhängigen Variablen hinweist. Die Faktoranalyse in Tabelle 18 zeigt, dass alle Items mit mindestens 0,466 auf das durch sie gemessene Konstrukt und höher als auf jedes andere Konstrukt laden; die höchste auftretende Kreuzladung liegt bei 0,239, sodass von einer guten Diskriminanzvalidität ausgegangen werden kann (Wolff & Bacher, 2010).

Tabelle 18
Hauptkomponentenanalyse aller verwendeten Items

| | Komponente | | | | | |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| HER1 | -,001 | ,181 | ,091 | ,239 | ,198 | ,466 |
| HER2 | ,033 | -,070 | -,060 | -,102 | -,075 | ,985 |
| BEO1 | ,085 | -,018 | -,068 | -,095 | ,853 | -,034 |
| BEO2 | ,037 | ,009 | -,072 | ,045 | ,944 | -,043 |
| BEO3 | -,151 | -,072 | ,155 | -,019 | ,672 | ,060 |
| AUT1 | -,030 | ,770 | ,078 | -,085 | -,075 | ,044 |
| AUT2 | -,043 | ,946 | -,035 | ,036 | ,046 | -,059 |
| AUT3 | ,061 | ,874 | -,039 | -,018 | -,049 | -,006 |
| DRU1 | -,062 | -,028 | ,023 | ,883 | -,037 | -,030 |
| DRU2 | ,010 | -,011 | ,043 | ,912 | ,034 | -,002 |
| DRU3 | ,084 | -,021 | -,116 | ,680 | -,065 | -,018 |
| KOM1 | ,040 | ,032 | ,738 | -,105 | ,122 | -,023 |
| KOM2 | -,057 | -,033 | ,901 | ,022 | -,052 | ,102 |
| KOM3 | ,079 | ,006 | ,913 | ,026 | -,050 | -,124 |
| INT1 | ,877 | ,053 | -,043 | -,018 | ,033 | ,034 |
| INT2 | ,911 | -,045 | ,047 | ,024 | -,073 | ,031 |
| INT3 | ,921 | -,017 | ,044 | ,012 | ,033 | -,027 |

Anmerkung: Ladungen > 0,7 sind fett markiert. HER1-2 = wahrgenommene Herausforderung; BEO1-3 = wahrgenommene Beobachtbarkeit; AUT1-3 = wahrgenommenes Autonomieerleben; DRU1-3 = wahrgenommene/r Anspannung/ Druck; KOM1-3 = wahrgenommenes Kompetenzerleben; INT1-3 = wahrgenommenes Interesse/ Vergnügen

Nachdem so auch die Validität des Messinstruments sichergestellt wurde, wurden die eigentlichen Hypothesentests zum Einfluss alternativer Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischer Labormaterialien auf die jeweils erhobenen Konstrukte durchgeführt. Dazu wurde für jede abhängige Variable eine zweifaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Dabei galt es zu berücksichtigen, dass eventuelle Unterschiede in der Ausprägung der abhängigen Variablen nicht nur mit dem Material, sondern auch mit dem jeweils durchgeführten Experiment (E I- E V) zusammenhängen können. Aufgrund dessen wurde auch die Interaktion zwischen dem Experimentiermaterial und dem Experiment (E I- E V) in das Modell aufgenommen. Die Ergebnisse der jeweiligen Varianzanalysen werden im Folgenden beschrieben, wobei die Formulierung einzelner aus den Lehrerinterviews abgeleiteter Hypothesen (s. Abschnitt 4.7) an die konkret verwendete Skala angepasst wurde.

*Ergebnisse der Hypothesentests***Herausforderung**

Hypothese 1: Das Experimentieren mit klassischem Labormaterial wird von SchülerInnen als herausfordernder wahrgenommen als das Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial.

Der Haupteffekt der Varianzanalyse zeigt, dass SchülerInnen, die mit klassischem Labormaterial experimentieren (Untersuchungsgruppe UG 2), die Experimentiersituation als signifikant herausfordernder wahrnehmen als SchülerInnen, die das jeweilige Experiment mit alternativem Experimentiermaterial durchführen (Untersuchungsgruppe UG 1) ($F_{1,225} = 2,931; p = 0,088^*$).

Tabelle 19

Varianzanalyse zur wahrgenommenen Herausforderung beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial

| | | | | |
|------------------------------------|-------------|-----------|----------|----------|
| UG1 (alternativ): $N = 115$ | $M = 3,678$ | | | |
| UG2 (klassisch): $N = 120$ | $M = 3,858$ | | | |
| | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i> |
| Material (alternativ/ klassisch) | 1 | 2,285 | 2,931 | 0,088* |
| Experiment (I- V) | 4 | 1,152 | 1,478 | 0,210 |
| Material x Experiment (I- V) | 4 | 1,784 | 2,289 | 0,061* |
| Fehler | 225 | 0,782 | | |

* $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$.

Da jedoch ein signifikanter Interaktionseffekt mit dem konkreten Experiment vorliegt ($p = 0,061^*$), ist zur Interpretation dieses Haupteffektes eine experimentsspezifische Betrachtung der abhängigen Variable notwendig. Dabei ist dem Profilplot (s. Abbildung 14) zu entnehmen, dass im Einzelnen nur für die Elektrolyse einer Salzlösung (E II) und das Experiment zur Gasentwicklung und dessen Nachweis (E IV) ein signifikanter Unterschied zwischen der wahrgenommenen Herausforderung und dem eingesetzten Experimentiermaterial vorliegt. Der Effekt ist jedoch gegensätzlich: Die Elektrolyse (E II) wird in der Variante mit alternativem Experimentiermaterial signifikant herausfordernder wahrgenommen, das Experiment zur Gasentwicklung und dessen Nachweis wird von den

SchülerInnen wiederum in der klassischen Materialvariante als signifikant herausfordernder wahrgenommen.

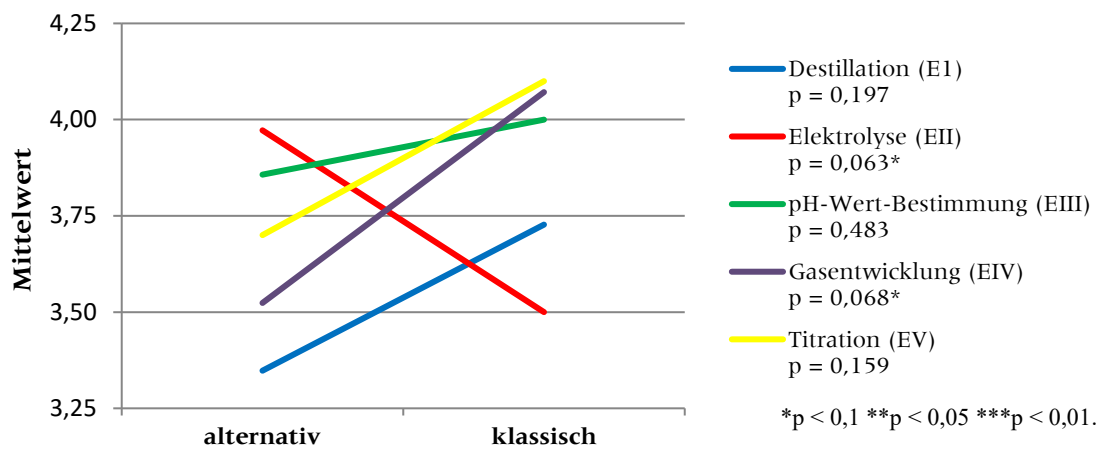


Abbildung 14. Ergebnis der Varianzanalyse zur wahrgenommenen Herausforderung auf Experimentebene in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial.

Da anhand dieses Profilplots zu erkennen ist, dass Experiment IV in der klassischen Variante signifikant und die Experimente EI, III und V in der klassischen Variante tendenziell als herausfordernder wahrgenommen werden, wurde die Varianzanalyse unter Ausschluss der Daten zur Elektrolyse (E II) erneut durchgeführt. Das Ergebnis zeigt wiederum, dass Experimente mit klassischem Labormaterial von SchülerInnen hochsignifikant herausfordernder wahrgenommen werden als die jeweiligen Experimente realisiert mit alternativem Experimentiermaterial ($M_{\text{alternativ}} = 3,624$; $M_{\text{klassisch}} = 3,973$; $F = 7,075$; $p = 0,009^{***}$). Für die Elektrolyse (E II) als Ausnahme finden sich in den Ergebnissen der Schülerinterviews konkrete Hinweise, die in Abschnitt 5.5.3 beschrieben werden. Trotz dieser Hinweise kann die experimentübergreifende Ausgangshypothese H1 statistisch jedoch nur teilweise bestätigt werden.

Beobachtbarkeit

Hypothese 2: Das Experimentiermaterial hat im Rahmen von qualitativen Schülerexperimenten keinen Einfluss auf die Beobachtbarkeit des Experiments.

Nach den Ergebnissen der Varianzanalyse (s. Tabelle 20) kann die Hypothese H2 bestätigt werden: Bei der Betrachtung qualitativer Schülerexperimente (E I- E IV) kann kein signifikanter Einfluss des Experimentiermaterials auf die Beobachtbarkeit des Experiments festgestellt werden.

Tabelle 20

Varianzanalyse zur wahrgenommenen Beobachtbarkeit qualitativer Schülerexperimente in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial

| | | | | |
|-----------------------------------|-------------|-----------|----------|----------|
| UG1 (alternativ): $N = 90$ | $M = 4,500$ | | | |
| UG2 (klassisch): $N = 101$ | $M = 4,363$ | | | |
| | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i> |
| Material (alternativ/ klassisch) | 1 | 0,898 | 1,763 | 0,186 |
| Experiment (I- IV) | 3 | 0,673 | 1,320 | 0,269 |
| Material x Experiment (I- IV) | 3 | 0,276 | 0,541 | 0,655 |
| Fehler | 183 | 0,510 | | |

* $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$.

Anmerkung. Da die verwendete Skala den Aspekt der Ergebnisqualität als Teil der Gelungenheit eines Experiments nicht erhebt, wurde die ursprüngliche Hypothese auf qualitative Schülerexperimente eingegrenzt und die Titration (E V) in der Varianzanalyse nicht berücksichtigt.

Autonomieerleben

Hypothese 3: SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial ein stärkeres Autonomieerleben wahr als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial.

Aufgrund der Ergebnisse der Varianzanalyse (s. Tabelle 21) kann die Hypothese H3 der Lehrkräfte über die betrachteten Experimente hinweg bestätigt werden: SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien im Mittel ein signifikant stärkeres Autonomieerleben wahr als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial ($F_{1, 225} = 3,144$; $p = 0,078^*$). Dieser Haupteffekt ist durch keine signifikante Interaktion mit dem jeweiligen Experiment (I- V) gestört.

Tabelle 21

Varianzanalyse zum wahrgenommenen Autonomieerleben beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial

| | | | | |
|------------------------------------|-------------|-----------|----------|----------|
| UG1 (alternativ): $N = 115$ | $M = 3,217$ | | | |
| UG 2 (klassisch): $N = 120$ | $M = 2,994$ | | | |
| | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i> |
| Material (alternativ/ klassisch) | 1 | 3,416 | 3,144 | 0,078* |
| Experiment | 4 | 0,841 | 0,774 | 0,543 |
| Material x Experiment | 4 | 0,997 | 0,917 | 0,455 |
| Fehler | 225 | 1,087 | | |

* $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$.

Anspannung/ Druck

Hypothese 4: SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial eine stärkere Anspannung/ einen höheren Druck wahr als beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial.

Wie den Ergebnissen in Tabelle 22 zu entnehmen ist, kann die von Lehrkräften aufgestellte Hypothese H4 bestätigt werden: Im Mittel nehmen die SchülerInnen beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial eine signifikant höhere Anspannung/ einen signifikant höheren Druck wahr als beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien ($F_{1,226} = 3,750$; $p = 0,054^*$). Da kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der Materialvariable und dem jeweils durchgeführten Experiment (E I- E V) festzustellen ist, kann von einem experimentübergreifend geltenden Effekt ausgegangen werden.

Tabelle 22

Varianzanalyse zur wahrgenommenen Anspannung/ dem wahrgenommenen Druck beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial

| | | | | |
|------------------------------------|-------------|-----------|----------|----------|
| UG1 (alternativ): $N = 117$ | $M = 1,635$ | | | |
| UG2 (klassisch): $N = 119$ | $M = 1,868$ | | | |
| | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i> |
| Material (alternativ/ klassisch) | 1 | 2,826 | 3,750 | 0,054* |
| Experiment (I- V) | 4 | 1,841 | 2,443 | 0,048** |
| Material x Experiment (I- V) | 4 | 1,164 | 1,545 | 0,190 |
| Fehler | 226 | 0,754 | | |

* $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$.

Kompetenzerleben

Hypothese 5: SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial ein stärkeres Kompetenzerleben wahr als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial.

Anhand der Ergebnisse aus Tabelle 23 kann für das Kompetenzerleben der SchülerInnen sowohl ein signifikanter Haupteffekt ($F_{1,227} = 3,526; p = 0,062^*$) als auch ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen dem Material als unabhängige Variable und dem jeweiligen Experiment (E I- E V) festgestellt werden ($F_{4,227} = 2,402; p = 0,051^*$).

Tabelle 23

Varianzanalyse zum wahrgenommenen Kompetenzerleben beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial

| | | | | |
|-------------------------------------|-------------|-----------|----------|----------|
| UG 1 (alternativ): $N = 117$ | $M = 4,396$ | | | |
| UG 2 (klassisch): $N = 120$ | $M = 4,247$ | | | |
| | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i> |
| Material (alternativ/ klassisch) | 1 | 1,646 | 3,526 | 0,062* |
| Experiment (I- V) | 4 | 0,684 | 1,466 | 0,214 |
| Material x Experiment (I-V) | 4 | 1,121 | 2,402 | 0,051* |
| Fehler | 227 | 0,467 | | |

* $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$.

Auch für das Kompetenzerleben wurde daher auf Experimentebene differenziert; im Profilplot ist dabei ein variierendes Bild zu erkennen (s. Abbildung 15). Während die SchülerInnen im Rahmen der Destillation (E I) und der Elektrolyse (E II), der Hypothese entsprechend, ein signifikant geringeres Kompetenzerleben beim Experimentieren mit klassischen Labormaterialien wahrnehmen als beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial, zeigt sich für die Experimente III, IV und V kein signifikanter Einfluss des Experimentiermaterials auf das von SchülerInnen wahrgenommene Kompetenzerleben. Auch aufgrund des signifikanten Interaktionseffektes wird die Ausgangshypothese H5 an dieser Stelle aus statistischer Perspektive abgelehnt.

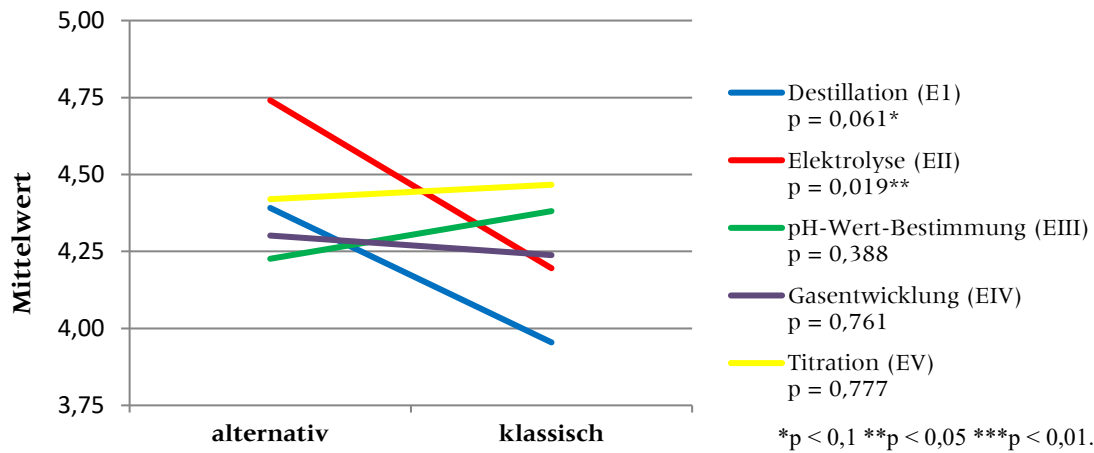


Abbildung 15. Ergebnis der Varianzanalyse zum wahrgenommenen Kompetenzerleben auf Experimentebene in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial.

Interesse/ Vergnügen

Hypothese 6: Das Experimentiermaterial hat keinen Einfluss auf das wahrgenommene Interesse/ Vergnügen von SchülerInnen beim Experimentieren.

Tabelle 24 zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse für die erhobene Variable *Interesse/ Vergnügen*. Ein Haupteffekt des Experimentiermaterials auf das von den SchülerInnen empfundene Interesse/ Vergnügen beim Experimentieren konnte für diese Untersuchung nicht festgestellt werden ($p = 0,817$). Aufgrund des signifikanten Interaktionseffektes mit dem konkret durchgeführten Experiment kann Hypothese 6 dennoch nicht allgemeingültig bestätigt werden.

Tabelle 24

Varianzanalyse zum wahrgenommenen Interesse/ Vergnügen beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial

| UG 1 (alternativ): $N = 116$ | $M = 4,175$ | | | |
|----------------------------------|-------------|-----------|----------|----------|
| UG 2 (klassisch): $N = 119$ | $M = 4,193$ | | | |
| | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>p</i> |
| Material (alternativ/ klassisch) | 1 | 0,035 | 0,054 | 0,817 |
| Experiment (I- V) | 4 | 1,311 | 1,987 | 0,097* |
| Material x Experiment (I- V) | 4 | 2,104 | 3,191 | 0,014** |
| Fehler | 225 | 0,659 | | |

* $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$.

Aufgrund des signifikanten Interaktionseffektes zwischen dem Material und dem jeweils durchgeführten Experiment ($F_{4,225} = 3,191$; $p = 0,014^{**}$) muss zur Interpretation des

Haupteffektes auch hier das wahrgenommene Interesse/ Vergnügen auf Experimentebene analysiert werden (s. Abbildung 16).

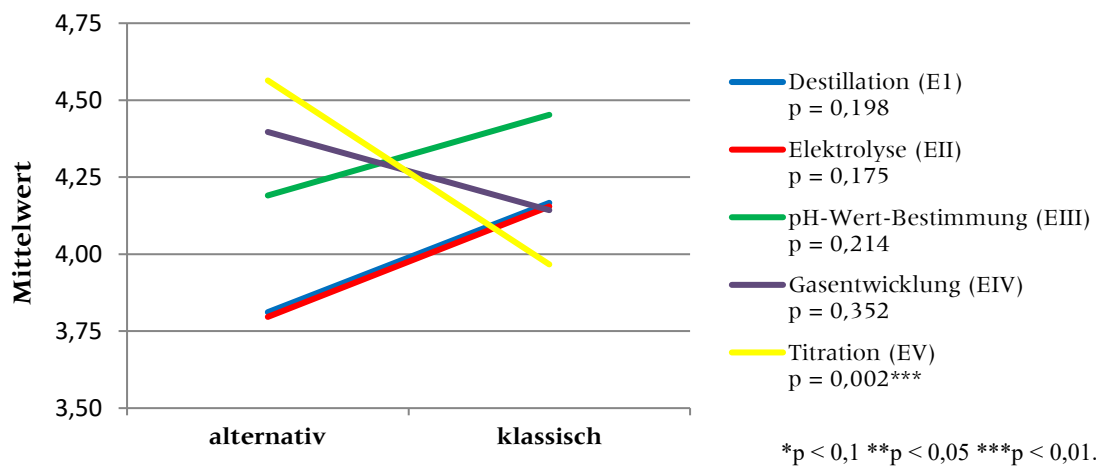


Abbildung 16. Ergebnis der Varianzanalyse zum wahrgenommenen Interesse/ Vergnügen auf Experimentebene in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial.

Anhand des Profilplots in Abbildung 16 ist zu erkennen, dass nur für die Titration (E V) ein hochsignifikanter Unterschied im Interesse/ Vergnügen der SchülerInnen zwischen alternativer und klassischer Materialvariante festzustellen ist: Die Titration mit klassischem Labormaterial wird mit signifikant weniger Interesse/ Vergnügen durchgeführt als die Titration mit alternativen Materialien, die insbesondere auf Materialien der Medizintechnik zurückgreift (Kunststoffspritzen, Kanülen, Ampullengläser). Auch Experiment IV, das ebenso wie die Titration (E V) mit Materialien der Medizintechnik realisiert wurde, wird in der alternativen Materialvariante *tendenziell* mit mehr Interesse/ Vergnügen durchgeführt als die Variante mit klassischem Labormaterial. Mit Blick auf die übrigen Experimente ist wiederum die *Tendenz* zu erkennen, dass die Experimente I- III in der klassischen Variante im Mittel jeweils ein höheres wahrgenommenes Interesse/ Vergnügen bei den SchülerInnen auslösen als die Low-Cost-Varianten der Experimente, die auch (umfunktionierte) Alltagsmaterialien umfassen. Aufgrund dieser Tendenzen wurde der gesamte Datensatz noch einmal aufgeteilt und die Daten der Experimente E IV- V (Medizin- bzw. Sprizentechnik im Vergleich zu klassischem Labormaterial) sowie der Experimente E I- III ((umfunktionierte) Alltagsmaterialien im Vergleich zu klassischem Labormaterial) jeweils zusammengefasst. Anschließend wurde erneut eine Varianzanalyse durchgeführt, in der der Haupteffekt des Materials auf das wahrgenommene Interesse/ Vergnügen der SchülerInnen berücksichtigt wurde.

Tabelle 25

Varianzanalyse bei einem Vergleich des wahrgenommenen Interesses/ Vergnügens beim Experimentieren mit (umfunktioniertem) Alltagsmaterial (E I- III) beziehungsweise mit der Medizintechnik (E IV- V), jeweils im Vergleich zum Experimentieren mit klassischem Labormaterial

| | | | | |
|--|-------------|-----------|----------|--|
| E I- III (alternativ): $N = 69$ | $M = 3,961$ | | | |
| E I- III (klassisch): $N = 78$ | $M = 4,265$ | | | |
| | df | MS | F | p |
| Material (alternativ/ klassisch) | 1 | 3,375 | 4,656 | 0,033** |
| Fehler | 145 | 0,725 | | |
| | | | | * $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$. |
| E IV- V (alternativ): $N = 47$ | $M = 4,489$ | | | |
| E IV- V (klassisch): $N = 41$ | $M = 4,057$ | | | |
| | df | MS | F | p |
| Material (alternativ/ klassisch) | 1 | 4,095 | 7,346 | 0,008*** |
| Fehler | 86 | 0,558 | | |
| | | | | * $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$. |

Die Ergebnisse aus Tabelle 25 zeigen, dass je nach ursprünglichem Kontext der alternativen Experimentiermaterialien, ein unterschiedlicher Effekt auf das wahrgenommene Interesse/ Vergnügen der SchülerInnen beim Experimentieren zu beobachten ist. So wird in E I- III das Experimentieren mit klassischem Labormaterial als signifikant interessanter wahrgenommen/ ein stärkeres Vergnügen wahrgenommen als beim Experimentieren mit (umfunktionierten) Alltagsmaterialien ($F_{1,145} = 4,656$; $p = 0,033^{**}$). Bei den Experimenten IV und V ist der gegenteilige Einfluss festzustellen: Das jeweilige Experiment mit Materialien der Medizintechnik wird von SchülerInnen als hochsignifikant interessanter wahrgenommen/ mit mehr Vergnügen durchgeführt als das jeweilige Experiment unter Einsatz klassischer Labormaterialien ($F_{1,86} = 7,346$; $p = 0,008^{***}$). Da Ampullengläser auch im Rahmen der Experimente E I und E III zum Einsatz kamen, wird der beobachtete Einfluss hier vor allem auf den Einsatz von Spritzen und Kanülen zurückgeführt und im Folgenden entsprechend spezifiziert. Die Eingangshypothese H6, dass das Experimentiermaterial keinen Einfluss auf das wahrgenommene Interesse/ Vergnügen von SchülerInnen beim Experimentieren hat, wird abschließend verworfen.

Tabelle 26 gibt abschließend einen Überblick über die Ergebnisse der durchgeführten Hypothesentests.

Tabelle 26
Zusammenfassung der Ergebnisse der Hypothesentests

| | Hypothese | Ergebnis des Hypothesentests | Kommentar |
|-----|--|------------------------------|--|
| H 1 | Das Experimentieren mit klassischem Labormaterial wird von SchülerInnen als herausfordernder wahrgenommen als das Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial. | teilweise bestätigt | Die Hypothese kann, mit Ausnahme der Elektrolyse (E II), für alle Experimente statistisch bestätigt werden. Die Ergebnisse der Schülerinterviews enthalten deutliche Hinweise auf eine Erklärung für E II als Ausnahme (s. Abschnitt 5.5.3). |
| H 2 | Das Experimentiermaterial hat im Rahmen von qualitativen Schülerexperimenten keinen Einfluss auf die Beobachtbarkeit des Experiments. | bestätigt | |
| H 3 | SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial ein stärkeres Autonomieerleben wahr als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial. | bestätigt | |
| H 4 | SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial eine stärkere Anspannung/ einen höheren Druck wahr als beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial. | bestätigt | |
| H 5 | SchülerInnen nehmen beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial ein stärkeres Kompetenzerleben wahr als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial. | nicht bestätigt | Die Hypothese kann lediglich für die Destillation (E I) und die Elektrolyse (E II) bestätigt werden. Dieses Ergebnis erlaubt keine allgemeingültige Bestätigung der Hypothese. |
| H 6 | Das Experimentiermaterial hat keinen Einfluss auf das wahrgenommene Interesse/ Vergnügen der SchülerInnen beim Experimentieren. | nicht bestätigt | <p>H 6.1 (bestätigt): Experimente mit der Spritzentechnik werden als interessanter wahrgenommen/ mit mehr Vergnügen durchgeführt als das jeweilige Experiment mit klassischem Labormaterial.</p> <p>H 6.2 (bestätigt): Experimente mit (umfunktionierten) Alltagsmaterialien werden als weniger interessant wahrgenommen/ mit weniger Vergnügen durchgeführt als das jeweilige Experiment mit klassischem Labormaterial.</p> |

5.5.2 Ergebnisse der Gruppeninterviews und offenen Fragen (qualitative Daten, QUAL)

Im Rahmen der Fragebogenerhebung wurden den SchülerInnen diejenigen Variablen zur Beurteilung vorgelegt, die nach Meinung der Lehrkräfte aus Studie I durch die unterschiedlichen Materialpools beeinflusst werden. Eine zusätzliche, qualitative Datenerhebung unter den SchülerInnen ermöglicht nun, dass auch die *ihrerseits* als relevant wahrgenommenen Einflüsse des Experimentiermaterials auf das Experimentieren im Chemieunterricht festgestellt werden können (Forschungsfrage 2.2). Im Folgenden wird dazu zunächst die Analyse der Gruppeninterviews (Untersuchungsgruppe 3) beschrieben sowie deren Ergebnisse zusammengefasst, um anschließend auch die Schülerantworten auf die offenen Fragen innerhalb des Fragebogens darzustellen (Untersuchungsgruppe 1 und 2).

Kategorienbildung und Ergebnisdarstellung – Gruppeninterviews

Entsprechend der Datenauswertung in Studie I wurde auch für die Analyse der Schülerinterviews auf die Qualitative Inhaltsanalyse und induktive Kategorienbildung nach Mayring (2014) zurückgegriffen; für eine allgemeine methodische Darstellung wird daher auf Abschnitt 4.3 verwiesen. Auch die Gruppeninterviews mit den SchülerInnen wurden in Form einer Matrix ausgewertet, in der jede Kategorie eine durch das Material beeinflusste Anforderung an ein gelungenes Experiment beschreibt und dabei einer Materialeigenschaft zugeordnet wird, auf die dieser Einfluss zurückzuführen ist. Die dabei angelegten Selektionskriterien sind – mit Ausnahme der Rahmenbedingungen und des Zeitaufwands – identisch zu Studie I, allerdings kann die Ausdifferenzierung der Selektionskriterien von Studie I abweichen. Beispielsweise beurteilen die Lehrkräfte das Autonomieerleben eher vor dem Hintergrund der Kreativität in einer Experimentiersituation, wohingegen die SchülerInnen explizit den Aspekt der eigenen Entscheidungsgewalt thematisieren (s. Tabelle 27). Da sich die Auswertung von Einzel- beziehungsweise Gruppeninterviews voneinander unterscheidet, wird an dieser Stelle kurz auf die Besonderheiten der Kategorienbildung im Rahmen der Gruppeninterviews eingegangen:

Da während des Gruppeninterviews sichergestellt wurde, dass von jeder/m SchülerIn Aussagen zu jeder Interviewleitfrage vorliegen, erwies es sich als sinnvoll, die Interviewtranskripte personenbezogen auszuwerten. Als Auswertungseinheit dienen daher personenbezogene Interviewtranskripte von $N = 56$ SchülerInnen. Sofern für das

Verständnis einzelner Interviewaussagen der/ des Schülerin/ s im Rahmen der Datenauswertung mehr Kontext benötigt wurde, wurde ergänzend das gesamte Interview der jeweiligen Gruppe und/ oder das vorliegende Videomaterial als Kontexteinheit hinzugezogen.¹⁴ Mit Blick auf die Validität der Daten sei bereits an dieser Stelle angemerkt, dass dem Videomaterial entnommen werden konnte, dass auf Prozessebene nahezu alle SchülerInnen an Aufbau und Durchführung beider Materialvarianten aktiv beteiligt waren, das heißt jede/r interviewte SchülerIn hat tatsächlich mit allen Experimentiermaterialien hantiert. Ausnahmen stellen insgesamt sechs der 56 SchülerInnen aus Untersuchungsgruppe 3 dar, von denen zwei SchülerInnen den Aufbau und die Durchführung in beiden Materialvarianten nahezu gänzlich der/ dem ExperimentierpartnerIn überließen; zwei weitere SchülerInnen fungierten speziell im Rahmen der Titration mit alternativem Material lediglich als ProtokollantIn und hantierten nicht direkt mit den Spritzen. Wieder zwei SchülerInnen agieren während je einer der beiden Materialvarianten eher als Materialien- und Chemikalien-, „Zubringer“. Unter anderem deshalb wurden im Rahmen der Interviewauswertung nur diejenigen Schüleraussagen kodiert, die einen unmittelbaren Bezug zum konkreten Experimentiermaterial aufweisen. Materialunabhängige, allgemein gefasste Aussagen wurden entsprechend nicht kodiert (z.B. *„Also ich fand‘, das hat schon Spaß gemacht. Also die Farben haben sich auch verändert, es war alles so bunt und so“*, SchülerIn 30, pH-Wert-Bestimmung). Da das Erkenntnisinteresse dieser Untersuchung weniger in experimentspezifischen Aussagen oder Aussagen zu Einzelmaterialien, sondern in Aussagen über den alternativen beziehungsweise klassischen Materialpool im Allgemeinen liegt, wird im Rahmen der Ergebnisdarstellung (s. Tabelle 27) in Klammern hinter der jeweiligen Kategorie angegeben, zu wie vielen der fünf betrachteten Experimente diese gebildet wurde. Die Kategoriensysteme zu den Experimenten im Einzelnen sind wiederum Anhang D zu entnehmen.

Es folgt eine Darstellung des so entstandenen Kategoriensystems; eine nähere Erläuterung der Ergebnisse wird in Abschnitt 5.5.3 vorgenommen.

¹⁴ Es soll angemerkt sein, dass aufgrund schulorganisatorischer Regularien zum Datenschutz für die Schülerpaare zur Elektrolyse (E II) kein Videomaterial vorliegt.

Tabelle 27 Ergebnisdarstellung Schülerinterviews: Einfluss des Experimentiermaterials auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| Grad der Herausforderung | | Durchschaubarkeit des Gesamtversuchsaufbaus und einzelner Bestandteile | | | Gelingenheit | |
|---------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| motorische Handhabung | wahrgenommene Herausforderung | Durchschaubarkeit und Bedienung einzelner Materialien | Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus | kognitiver Fokus | Beobachtbarkeit | Ergebnisqualität |
| Alltagsbezug | | Einfachheit und Intuitivität (LC) (3) | besseres Verständnis der Versuchsanleitung durch Alltags- statt Fachbegriffe (LC) (1) nachträgliche Nachvollziehbarkeit durch Heimexperimente (LC) (1) | | | |
| Beschaffungsform | | | | | | |
| Chemikalienmenge | | | Effektdauer (KL > LC): intensivere Auseinandersetzung mit den chemischen Vorgängen (1) | | Effektstärke (LC > KL) (3) Effektdauer (KL > LC): detailliertere Beobachtung, keine Gefahr Effekt zu verpassen (2) effiziente Wiederholbarkeit (LC) (1) | Anfälligkeit der Farbeeffekte durch sensible Mengensubstanz (LC) (2) Wiederholbarkeit (LC) (1) |
| Etabliertheit im Unterricht | | Übung notwendig (Kolbenprober/ Bunsenbrenner) (2) | | | | |
| Fachbezug Chemie | | | | | | |
| Funktionalität | größere Herausforderung durch komplexere Bedienung (KL) (3) | komplexere Bedienung (KL) (5) | | Fokus liegt auf Folgenabschätzung (KL > LC) (2) | Beobachtung von Einzeleffekten (KL > LC) (2) | |
| Gefahrenpotential | | | | Fokus liegt auf Bunsenbrenner (1) | | |
| Größe | Schwierigkeiten in der Femmotorik (LC) // Griffigkeit (KL) (5) Handlichkeit (LC) statt Sperrigkeit (KL) (4) | | | Übersichtlichkeit am Platz: 'Grobes statt Kleinzug' (KL) (1) Fokus auf Instabilität (LC) (1) | Vogelperspektive (Blister) // Rundum-Perspektive (Reagenzglas) (2) Beobachtung der Einzeleffekte (KL > LC) (3) Intensität der (Farb)-Effekte (KL > LC) (2) | |
| Größe des Versuchsaufbaus | | | längerer 'Reaktionsweg': mehr Zeit für Verständnis der chemischen Vorgänge (KL) (1) Übersichtlichkeit der Apparatur: 'alles auf einem Raum' (LC) (1) | | Platzersparnis (LC); parallele Dokumentation (1) Kleingruppen nötig (LC) (1) Kleingruppen: bessere Beobachtungsmöglichkeiten (LC) (1) längerer 'Reaktionsweg': Zeit für detailliertere Beobachtung der Vorgänge (KL) (3) | |
| Komplexität des Versuchsaufbaus | Einfachheit bis Unterforderung (LC) // angemessene Herausforderung (KL) (5) | | LC-Material ist prinzipiell ausreichend (2) geringer Aufbauaufwand: mehr Zeit für Auswertungsphase (LC) (1) stärkere Separiertheit der Einzelmaterialien (KL); Klarheit des Aufbaus (3) Übersichtlichkeit der Apparatur: 'alles auf einem Raum' (LC) (2) | Fokus auf Stabilisierung (LC) // Fokus auf chemischen Vorgängen und Dokumentation (KL) (2) | geringer Aufbauaufwand: mehr Zeit für Dokumentation (LC) (1) | |
| Materialwert | | | | | | |
| Robustheit | größere Herausforderung durch größere Folgenabschätzung (KL) (4) | | | Fokus auf Folgenabschätzung (KL > LC) (4) | | |

Anmerkung. Die erste Klammer gibt an, auf welchen Materialpool sich die Kategorie bezieht (LC = Low-Cost-Material, KL = klassisches Labormaterial). Die Zahlen in Klammern geben an, zu wie vielen der fünf betrachteten Experimente die jeweilige Kategorie vergeben wurde.

| | Autonomieerleben | Emotionale Erlebenszustände | Authentizität | Arbeitssicherheit |
|---------------------------------|---|--|--|--|
| Alltagsbezug | eigene Entscheidungsgewalt | Emotionen und Ersteindruck Interessanztheit: bekanntes Alltagsmaterial (LC) < Fachmaterial (KL) (3) überraschendes (Nachmach-) Potential durch Alltagsmaterialien (LC) (3) | Forschungsbezug | Sicherheit/ sachgerechter Umgang Vertrautheitsgefühl: Teelicht > Bunsenbrenner (1) Angst vor Spritzen/ Kanülen/ Stichverletzungen (2) |
| Beschaffungsform | | | | |
| Chemikalienmenge | | spektakulärere Effekte (KL) (1) | | Chemikalieneinsparung (LC) // empfundene Verschwendung (KL) (2) |
| Etabliertheit im Unterricht | | Bunsenbrenner-Routine als erwünschtes Lernziel (2) Abwechslung zum regulären Experimentieren (LC) (2) Umgang mit Kanülen kostet Überwindung und benötigt Gewohnheit (1) | | |
| Fachbezug Chemie | | professionelles Experimentiergefühl (KL) (3) authentisches Experimentiergefühl (KL) (1) KL entspricht Erwartungshaltung an Chemie (2) Interessanztheit: Besonderheit von Fachmaterial (KL) > bekanntes Alltagsmaterial (LC) (4) Fachmaterial (KL): 'imposanter, cooler, ansprechender' (5) 'Nähe zum Geschehen' (Blisterpackung > Reagenzgläser) (1) Angespanntheit bei Bedienung (KL > LC) (3) Präferenz zu LC bei Angst vor Feuer (1) Respekt und Angespanntheit (KL > LC) (2) Ansporn durch Folgenabschätzung (KL) (3) | Professionalität als Materialeigenschaft (KL > LC) (1) Fach-/ Industriebezug/ Forscherpotential (KL > LC) (3) | Anmerkung. Die erste Klammer gibt an, auf welchen Materialien Materialpool sich die Kategorie bezieht (LC = Low-Cost-Material, KL = klassisches Labormaterial). Die Zahlen in Klammern geben an, zu wie vielen der fünf betrachteten Experimente die jeweilige Kategorie vergeben wurde. |
| Funktionalität | eigene Einstell-Entscheidungen (KL) (2) | | | sauberer Chemikalientransport durch Spritzen (LC) (2) |
| Gefahrenpotential | | | | Gefährdungsbeurteilung (Bunsenbrenner > Teelicht) (1) |
| Größe | | | | Sauberkeit beim Experimentieren (KL > LC) (3) Schutz vor Chemikalien (Blister < Reagenzglas) (1) Instabilität (LC) // Stabilität (KL) (2) |
| Größe des Versuchsaufbaus | Platzersparnis: Möglichkeit von Einzelexperimenten (LC) (1) | | | |
| Komplexität des Versuchsaufbaus | | Interessanztheit durch größere Herausforderung (KL) (4) Passung von Anstrengung und Resultat/ Stolz-Empfinden (KL > LC) (3) Typenabhängigkeit: KL als 'variante für Interessierte' (1) | | Instabilität durch fehlende Fixierung (LC) // Stabilität (KL) (1) Kontakt mit erhitzten Apparaturteilen durch Instabilität (LC) // Abstand zu erhitzten Apparaturteilen durch Stabilität (KL) (1) bedingt Sauberkeit beim Experimentieren (KL > LC) (1) |
| Materialwert | | | | |
| Robustheit | | stärkeres Verantwortungsgefühl durch Glasbruch-Gefahr (KL) (1) Angespanntheit durch Folgenabschätzung (KL > LC) (4) | | Standfestigkeit (Blister < Becherglas) (1) |

Kategorienbildung und Ergebnisdarstellung – offene Fragen

Indem zusätzlich zu den Gruppeninterviews auch auf Klassenebene qualitative Daten erhoben wurden, können die Interviewaussagen mit den Ergebnissen auf Klassenebene trianguliert und, in diesem Fall, gegenseitig untermauert werden; die Daten auf Klassenebene dienen damit auch der internen Validierung der Interviewergebnisse. Dies ist für die Ergebnisqualität insofern förderlich, als dass die SchülerInnen der Untersuchungsgruppe 3, trotz freiwilliger Teilnahme und der Arbeit in dem ihnen vertrauten Chemieraum, vor allem aufgrund der Videographie unter einer gesonderten Situation standen, die die Wahrnehmung der Situation und damit Datenerhebung beeinflussen kann. Dieser Effekt kann durch eine Validierung der Ergebnisse auf Klassenebene minimiert werden. Die hohe Anzahl an vorliegenden Fragebögen inklusiver offener Fragen erlaubt an dieser Stelle außerdem eine Quantifizierung der Ergebnisse über Kategorienhäufigkeiten. Dabei galt ein Antwortsatz auf eine der vier offenen Fragen als eine Kodiereinheit. Indem jede Kategorie pro SchülerIn nur 1x vergeben wurde, steht die Anzahl der Nennungen für die Anzahl derjenigen SchülerInnen, die eine Antwort notiert haben, die mit eben jener Kategorie kodiert wurde. Durch diese Quantifizierung ist eine höhere Generalisierbarkeit der Ergebnisse und allgemein geltende Schlussfolgerungen bezüglich der jeweiligen Materialpools möglich (Mayring, 2014). Die durch die Auswertung der offenen Fragen ermittelten Kategorien sind in Abbildung 17 zusammengefasst dargestellt. Es sei angemerkt, dass die schriftlichen Antworten der SchülerInnen nicht immer so ausdifferenziert begründet wurden, dass ihre Wahrnehmung der Materialien konkret auf eine Eigenschaft der Materialien zurückzuführen ist. Beispielsweise notierten die SchülerInnen vielfach eine *eingeschränkte Beobachtbarkeit* im Rahmen von Experimenten mit alternativen Materialien, ohne diese mit einer Materialeigenschaft zu begründen. An dieser Stelle dienen wiederum die Ergebnisse der Schülerinterviews der Spezifikation; entsprechende Ergänzungen der jeweils erhobenen Daten werden daher in Abschnitt 5.5.3 vorgenommen.

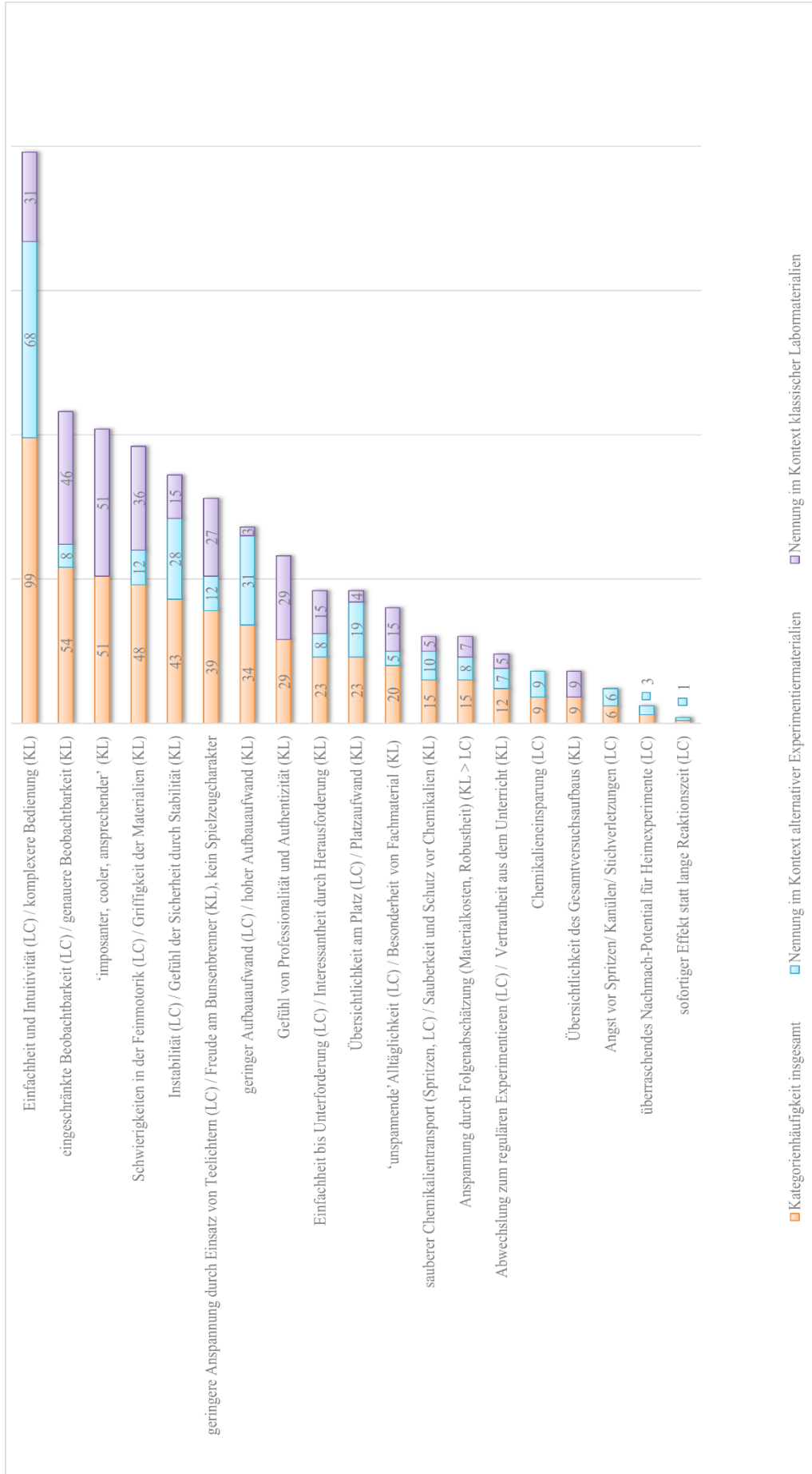


Abbildung 17. Ergebnisdarstellung der offenen Fragen auf Klassenebene: Positive und negative Aspekte beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial (KL) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (LC).

5.5.3 Integration der Ergebnisse – QUAN + QUAL

Entsprechend dem angelegten Mixed-Method-Design (s. Abschnitt 5.1) werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse der quantitativen und qualitativen Erhebung gemeinsam betrachtet und insbesondere die Ergebnisse der qualitativen Datenerhebung genutzt, um die Ergebnisse der Hypothesentests näher zu erläutern (Forschungsfrage 2). Beispielsweise geben lediglich die Ergebnisse der Schülerinterviews Auskunft darüber, aufgrund welcher Materialeigenschaften die SchülerInnen beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial eine signifikant stärkere Anspannung/ einen höheren Druck wahrnehmen als beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial. Dabei sei daran erinnert, dass der Leitfaden der Schülerinterviews sich nicht an den aufgestellten Hypothesen, sondern sich – entsprechend dem Leitfaden aus Studie I – an den theoretisch beschriebenen, fachdidaktischen Anforderungen an ein gelungenes Experiment orientierte. Daraus folgt beispielsweise, dass induktiv gebildete Kategorien zur fachdidaktischen Anforderung *Sicherheit* zur Erläuterung von Hypothese 4 *wahrgenommene(r) Anspannung/ Druck beim Experimentieren* hinzugezogen werden. Im folgenden Abschnitt grau unterlegt ist daher jeweils das Ergebnis des Hypothesentests aus Abschnitt 5.5.1, der Text im Anschluss dient der entsprechenden Erläuterung dieses Ergebnisses durch Kategorien aus den Schülerinterviews beziehungsweise den offenen Fragen. Wie bereits in der Ergebnisdarstellung von Studie I, werden die Kategorien aus den Kategoriensystemen im jeweils folgenden Fließtext *kursiv* hervorgehoben; auch hier kann die Bezeichnung einer Kategorie im Kategoriensystem leicht von der Benennung im Text abweichen, um den Satz grammatikalisch anzupassen. Die exemplarisch eingebundenen Schülerzitate stammen jeweils aus einem der 56 vorliegenden personenbezogenen Interviewtranskripte. Dazu wurden die 56 interviewten SchülerInnen entsprechend durchnummeriert. Außerdem ist jeweils angegeben, welches Experiment von dem jeweiligen Schüler/ der jeweiligen Schülerin in beiden Materialvarianten durchgeführt wurde. Zum Verständnis der zitierten Interviewaussagen sei erwähnt, dass sich SchülerInnen, die von „Material A“ sprechen, auf alternatives Experimentiermaterial beziehen und SchülerInnen, die von „Material B“ sprechen, sich auf klassisches Labormaterial beziehen.

Ergebnis Hypothese 1

Das Experimentieren mit klassischem Labormaterial wird von SchülerInnen teilweise herausfordernder wahrgenommen als das Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien.

Die quantitative Erhebung hat gezeigt, dass mit Ausnahme der Elektrolyse einer Salzlösung (E II) alle Experimente in klassischer Variante als signifikant herausfordernder wahrgenommen werden als in der entsprechend alternativen Materialvariante. Auch in den Schülerinterviews formulieren die SchülerInnen einen Einfluss des Experimentiermaterials auf den wahrgenommenen Grad der Herausforderung, dabei sowohl auf die Herausforderung in Bezug auf den motorischen Umgang mit den Materialien als auch auf den Grad der Herausforderung entsprechend der im Fragebogen angelegten Operationalisierung als Maß der kognitiven Aktivierung.

Auf den Grad der Herausforderung bezüglich der motorischen Handhabung der Materialien wird im Kontext von Hypothese 5 zum wahrgenommenen Kompetenzerleben eingegangen, da dieses Konstrukt unter anderem über das experimentelle Geschick operationalisiert ist. Die folgende Erläuterung fokussiert stattdessen diejenigen Kategorien, die sich auf das Maß der kognitiven Aktivierung im Sinne der Anstrengung und des Nachdenkens beim Experimentieren beziehen. Inhaltlich fallen darunter, neben direkten Aussagen zur wahrgenommenen Herausforderung (i), auch die Ergebnisse zum Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit und Bedienung einzelner Materialien (ii), die Durchschaubarkeit des Gesamtversuchsaufbaus (iii) sowie auf den kognitiven Fokus der SchülerInnen beim Experimentieren (iv):

(i) Einfluss des Experimentiermaterials auf den von SchülerInnen wahrgenommenen Grad der Herausforderung: Insgesamt wird auch in den Schülerinterviews ein höherer Grad der Herausforderung beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial beschrieben. Diesen führen die SchülerInnen vor allem auf die komplexere Bedienung, den komplexeren Versuchsaufbau – vor allem beim Einsatz von Stativmaterial in Kombination mit Glasmaterial –, auf die geringere Robustheit, das größere Gefahrenpotential sowie die damit einhergehende höhere Folgenabschätzung beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial zurück. Stattdessen führt die weniger komplexe Funktionalität, der weniger komplexe Versuchsaufbau, das geringere Gefahrenpotential von Teelichtern im Vergleich zu Bunsenbrennern sowie die aufgrund der Robustheit von vor allem Kunststoffmaterialien geringer ausfallende Folgenabschätzung dazu, dass die wahrgenommene Herausforderung beim Experimentieren mit alternativem Material

entsprechend geringer ausfällt. Diese Argumentationskette formulieren die SchülerInnen auch im Kontext der Elektrolyse (E II), die sich im Rahmen der quantitativen Analyse als Ausnahme vom Ergebnis des Hypothesentests zu H1 erwies. Demzufolge ist nach Aussagen der SchülerInnen beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial ‘mehr zu machen’ (SchülerIn 14, E II, Elektrolyse) und der Versuchsaufbau erfordert mehr Denkleistung: „Dann muss man sich so Gedanken machen darüber und das finde ich eigentlich interessanter“ (SchülerIn 27, E III, pH-Wert-Bestimmung), wohingegen alternative Versuchsaufbauten stellenweise als *zu simpel* beschrieben werden. So heben die SchülerInnen bei vier von fünf Experimenten dediziert die *angemessene Herausforderung* als Argument für ein stärkeres Interesse an der klassischen Materialvariante hervor. Ein/e SchülerIn formuliert dies wie folgt:

Die Sachen [Kontext: klassisches Labormaterial] waren halt größer und irgendwie der ganze Versuch war im Allgemeinen ja auch größer wegen dem Stativ und so und das, fand’ ich, ist irgendwie besser rübergekommen sozusagen. Also sah ansprechender aus irgendwie. Und der Versuch A war jetzt zum Beispiel eher so klein und das kann man auch einfach mal irgendwie so machen und bei B musste man sich auch so ein bisschen mehr Mühe geben sozusagen und auch noch ein bisschen mehr darauf achten und das fand’ ich eigentlich auch viel interessanter. (SchülerIn 38, E IV, Gasentwicklung und -nachweis)

(ii) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit und Bedienung einzelner Materialien: Mit Blick auf die Durchschaubarkeit der Bedienung einzelner Materialien argumentieren die interviewten SchülerInnen, dass die *Bedienung* klassischer Labormaterialien *komplexer* ist als die dem entgegen *intuitive* Bedienung alltagsbekannter Materialien des alternativen Materialpools. In Bezug auf klassische Labormaterialien nennen die SchülerInnen demnach eine notwendige Gewohnheit und *Übung*, um auch deren Bedienung zu routinieren. Erwähnte Beispiele sind der Bunsenbrenner im Vergleich zum Teelicht (E I, E III), der Kolbenprober im Vergleich zur Kunststoffspritze (E IV)¹⁵, die Bedienung des Bürettenhahns im Vergleich zum tropfenweisen Auslassen der Probelösung aus einer Kunststoffspritze mit aufgesetzter Kanüle (E V) sowie der Anschluss der klassischen Spannungsquelle im Vergleich zur handelsüblichen Blockbatterie inklusive Batterieclip (E II).

¹⁵ Bezüglich E IV (Gasentwicklung und -nachweis) sei erläutert, dass die beschriebene Komplexität der Bedienung des Kolbenprobers weniger darin liegt, *wie*, sondern *wann* der Hahn geöffnet beziehungsweise geschlossen werden muss. Dieser zusätzliche Gedankengang während der Bedienung der Materialien war im Rahmen des Gasentwicklers in alternativer Materialvariante nicht notwendig.

(iii) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit des Gesamtversuchsaufbaus: Die interviewten SchülerInnen zeigen unterschiedliche Ansichten darüber, ob Versuchsaufbauten aus klassischem oder alternativem Experimentiermaterial für sie durchschaubarer sind. Beide Argumentationsgänge werden skizziert:

Vorteile der Durchschaubarkeit von Versuchsaufbauten mit klassischem Labormaterial: Klassische Versuchsaufbauten gehen nach Aussagen der SchülerInnen mit einer gewissen *Klarheit* einher. Vor allem im Rahmen von Versuchsaapparaturen wird dabei mit der *Materialdichte* als Einflussfaktor auf deren Durchschaubarkeit begründet. Die SchülerInnen argumentieren, dass durch die stärkere *Separiertheit* der einzelnen Apparaturteile einer klassischen Versuchsaapparatur für sie deutlicher zu erkennen ist, wie die einzelnen Teile innerhalb der Apparatur zusammenhängen. Als Beispiele angeführt werden die Destillationsapparatur (E I), die Gasentwicklungseinheit in E IV und der Versuchsaufbau zur Elektrolyse (E II). Da dadurch gleichzeitig auch die jeweiligen Reaktionsräume stärker voneinander getrennt sind, erlauben die klassischen Versuchsaufbauten in den genannten Beispielen eine leichtere Durchschaubarkeit der chemischen Vorgänge und deren Verlauf innerhalb der Apparatur. Diese Klarheit wird unterstützt durch eine *längere Effektdauer* sowie *längere Reaktionswege* innerhalb größerer klassischer Versuchsaufbauten, durch die mehr Zeit bleibt, die Vorgänge und Reaktionsverläufe zu verfolgen und sich mit der Apparatur als solcher sowie den Vorgängen innerhalb dieser auseinanderzusetzen. Auch bei nicht-apparativen Versuchsaufbauten wie E III zur Bestimmung des pH-Wertes greifen die SchülerInnen auf diese Argumentation zurück. Exemplarisch herangezogen sei ein Zitat von SchülerIn 25, nach dem sechs einzelne, voneinander deutlich separierte Reagenzgläser eine stärkere Durchschaubarkeit des Versuchsaufbaus vermitteln als die räumliche Nähe einzelner Blistervertiefungen:

Also das [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] kann man ziemlich schnell durchführen, vielleicht für einen schnellen Versuch. Aber für Versuche mit mehr Verständnis [...] find' ich den Versuch B besser. [...] Also ich kann das, wenn die Sachen klarer aufgeteilt sind mit größeren Gläsern, dass man das besser sehen kann, dann versteh' ich Sachen besser, als wenn das jetzt ganz dicht aneinander ist. (SchülerIn 25, E III, pH-Wert-Bestimmung)

Vorteile der Durchschaubarkeit von Versuchsaufbauten mit alternativem Experimentiermaterial: Wiederum andere SchülerInnen schreiben stattdessen alternativen Versuchsaufbauten eine bessere Durchschaubarkeit zu. In den Interviews begründen die

SchülerInnen diese mit der geringeren Größe alternativer Versuchsaufbauten sowie der vorgenommenen Materialreduktion, oftmals bedingt durch den Verzicht auf Stativmaterial. Durch diese Miniaturisierung kann der fertige experimentelle Aufbau zügig überblickt werden. Im Rahmen der Titration mit alternativem Material (E V) beispielsweise formulieren die SchülerInnen den Vorteil, dass durch die geringere Größe des Versuchsaufbaus die Skala der Kunststoffspritze und die Probelösung gleichzeitig innerhalb des eigenen Blickfelds liegen (*‘alles auf einem Raum’*). Dem entgegen kann bei der klassischen Titration nur stets ein/e SchülerIn entweder die Büretten-Skala *oder* die Probelösung beobachten. Als unmittelbarer Kontrast zum vorherigen Zitat von SchülerIn 25 ist ein weiteres von den SchülerInnen genanntes Beispiel für dieses Argument der Übersichtlichkeit durch Miniaturisierung die Verwendung *einer* Blisterpackung anstelle von mehreren, einzelnen Reagenzgläsern:

Ich fand’, das bei der A war viel überschaubarer irgendwie. Man hatte die kleineren Sachen, man hatte die kleineren Gefäße, man hatte da so seine sechs kleinen Einheiten auf einen Blick und das fand’ ich jetzt besser als bei den einzelnen Reagenzgläsern. (SchülerIn 26, E III, pH-Wert-Bestimmung)

Weitere Vorteile alternativer Experimentiermaterialien hinsichtlich der Durchschaubarkeit einer Versuchsanordnung sehen die SchülerInnen in der Möglichkeit des privaten Nachbaus im Heimexperiment und der damit einhergehenden Chance, die Vorgänge des Experiments noch einmal *zu Hause nachvollziehen* zu können (Kontext E I, Destillation)¹⁶ sowie in den *alltagsbekannten Materialbezeichnungen* statt Fachbegriffen für die entsprechend klassischen Labormaterialien. Aus unterrichtsorganisatorischer Perspektive argumentieren die SchülerInnen außerdem, dass ihnen durch den *zügigeren Auf- und Abbau* alternativer Versuchsaufbauten mehr Zeit für die Versuchsauswertung und damit zur Durchschaubarkeit der chemischen Vorgänge zur Verfügung steht. Dabei nimmt der geringere Aufbauaufwand mit $N = 34$ Nennungen Rang 7/ 19 der in den offenen Fragen kodierte Aspekte ein, die SchülerInnen beim Einsatz alternativer Experimentiermaterialien gut gefallen haben („Wie sagt man immer so? Klein aber fein. Ich fand’ auch das kleine Experiment A besser, das Experiment to go, weil irgendwie ging das schneller“,

¹⁶ Auch wenn im Rahmen der Destillation in alternativer Materialvariante nicht ausschließlich (umfunktionierte) Alltagsmaterialien eingesetzt werden, ist es nichtsdestotrotz eher denkbar, dass Lehrkräfte den SchülerInnen entsprechende Materialien für Heimexperimente zur Verfügung stellen als für eine Destillation mit klassischem Labormaterial. Damit ermöglichen alternative Experimentiermaterialien *eher* freiwillige Heimexperimente oder Hausaufgabenexperimente als klassisches Labormaterial.

SchülerIn 35, E III, pH-Wert-Bestimmung). Experimente mit alternativem Material werden in den Interviews daher auch als (nur) *prinzipiell ausreichend* beschrieben.

(iv) Einfluss des Experimentiermaterials auf den kognitiven Fokus von SchülerInnen beim Experimentieren: Die SchülerInnen beschreiben, dass die komplexere Bedienung, der komplexere Versuchsaufbau, die geringere Robustheit, das höhere Gefahrenpotential sowie die damit einhergehende, höhere Folgenabschätzung beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial ihren eigenen kognitiven Fokus vor allem auf den sachgerechten Umgang mit den jeweiligen Fachmaterialien lenken. Entsprechend führt das Experimentieren mit alternativen Materialien dazu, dass ihr Fokus sich beim Experimentieren eher auf das Experiment und dessen chemische Vorgänge richtet. Dieses Argument setzt nach Aussagen der SchülerInnen jedoch eine ausreichende Stabilität des alternativen Versuchsaufbaus voraus. Andernfalls müssen sich die SchülerInnen nach eigenen Angaben, und vor allem im Gegensatz zu den klassischen Versuchsaufbauten, mehr auf die *Stabilisierung und Halterung der Materialien fokussieren* als auf das Experiment als solches. So findet sich sowohl im Interviewmaterial als auch innerhalb der offenen Fragen ($N = 43$ Nennungen, Rang 5/ 19) auffallend häufig das Argument der *Instabilität* von alternativen Einzelmaterialien und Apparaturen mit alternativem Experimentiermaterial, das eine Besorgnis bei den SchülerInnen auslöst. Wenngleich dieser Aspekt nicht trennscharf zum Grad der Herausforderung bezüglich des manuellen Aufbaus diskutiert werden kann, sei bereits an dieser Stelle auf das fehlende Stativmaterial und, mit Ausnahme der Spritzen, auf die zu geringe Größe der Einzelmaterialien hingewiesen, die die SchülerInnen als Schwierigkeiten der alternativen Materialien und Versuchsaufbauten identifizieren. Dabei beziehen sie sich konkret auf die Instabilität der Ampullen gläser und Blisterpackungen, auf die Konstruktion des Kerzenbrenners aus Teelichtern und Agraffen sowie auf die nicht gegebene Passgenauigkeit der Einzelteile einer Destillations- und -Elektrolyse-Apparatur mit alternativem Experimentiermaterial:

- (i) Da [Kontext: klassisches Labormaterial] konntest du dich mehr darauf konzentrieren genau WAS jetzt passiert und [...] gucken was passiert, weil ich hier nicht Schiss hatte, dass alles umfällt wie bei A. Weil bei A hattest du die ganze Zeit so Schiss ‘oh jetzt fällt es gleich alles um, jetzt muss ich es festhalten’ und bei B halt nicht. [...] Das [Kontext: klassisches Labormaterial] fand’ ich ein bisschen einfacher und das fand’ ich auch insgesamt stabiler alles zusammen. (SchülerIn 3, E I, Destillation)

- (ii) Da [Kontext: klassisches Labormaterial] kann man sich mehr auf das Beobachten fokussieren anstatt, weil wenn man es so selbst festhalten muss, dann muss man so beachten 'ja ok, die [Kontext: Bleistiftminen] dürfen sich jetzt nicht beide treffen' und so. (SchülerIn 13, E II, Elektrolyse)

Die zuletzt zitierte Schüleraussage von SchülerIn 13 soll außerdem exemplarisch herangezogen werden, um die Elektrolyse (E II) als Ausnahme beim Hypothesentest zu erklären. So deuten die Ergebnisse der qualitativen Erhebung darauf hin, dass SchülerInnen – entgegen dem Ergebnis des Hypothesentests zu Hypothese 1 – auch die Elektrolyse (E II) in klassischer Variante als herausfordernder wahrnehmen als die Elektrolyse mit alternativem Experimentiermaterial. Zum einen stellen die SchülerInnen den Gegensatz aus der Einfachheit alternativer und Komplexität klassischer Versuchsaufbauten auch im Rahmen des manuellen Aufbaus (sowie der Bedienung) einer Elektrolyse (E II) an; konkret wird dabei ein Vergleich zwischen der klassischen Spannungsquelle und der alternativen Blockbatterie angestellt. Zum anderen ist mit Blick auf die zitierte Schüleraussage außerdem zu vermuten, dass das präzise Still-Halten der Bleistiftminen die wahrgenommene Herausforderung der SchülerInnen beeinflusst hat. Schließlich wird diese im Rahmen der verwendeten Skala über die Anstrengung beim Experimentieren operationalisiert (s. Tabelle 14) und die Elektrolyse in alternativer Materialvariante als einziges der betrachteten Experimente in den Interviews als wortwörtlich „anstrengend“ beschrieben. Dabei wird einerseits mit der Instabilität der Blisterpackung im Vergleich zum Becherglas, andererseits mit der notwendigen manuellen Halterung der Bleistiftminen durch den Verzicht auf Stativmaterial argumentiert:

Ich fand' in der A-Variante dann auch, wenn man es auf Dauer macht, um was zu beobachten, ist es auch anstrengend das Ganze selbst zu halten und sich nicht zu bewegen. (SchülerIn 16, E II, Elektrolyse)

Da eine manuelle Halterung in der Form nur bei der Elektrolyse in alternativer Materialvariante notwendig war, ist davon auszugehen, dass Experimente mit alternativen Experimentiermaterialien *grundsätzlich* als weniger herausfordernd wahrgenommen werden als die klassische Materialvariante, solange SchülerInnen keine Kleinstmaterialien wie Zirkel- oder Bleistiftminen für längere Zeit bewegungslos fixieren müssen.

Im Zuge dieses Arguments der Instabilität wird in allen Experimenten mit alternativem Experimentiermaterial außerdem von umgefallenen Ampullengläsern und Ungenauigkeiten beim Befüllen sowie dem Transport der wiederum befüllten Ampullengläser und

Blisterpackungen berichtet. Das Videomaterial bestätigt, dass es mehrfach zu Hautkontakt mit Chemikalien oder umgefallenen, teilweise bereits erhitzten Ampullengläsern kommt:

- (i) Also ich find' DAS [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] ist ein Experiment, was man mal zuhause machen kann mit den kleinen Dingen. Aber wenn man das Material schon hat [Kontext: klassisches Labormaterial], ist es nicht so friemelig und nicht so ungenau mit den großen Sachen wie beim Kleinen. Da schüttet man irgendwas daneben oder landet im anderen Teil halt nebendran [Kontext: Blistervertiefung]. Also das Große funktioniert schon besser. (SchülerIn 30, E III, pH-Wert-Bestimmung)
- (ii) Ich find' auch, dass es nicht nur deutlich professioneller ist, sondern auch deutlich sauberer [Kontext: klassisches Labormaterial]. Ich glaub' auch nicht, dass man jetzt so 'nen super gefährlichen Versuch in so 'ner Tablettendings machen kann. (SchülerIn 28, E III, pH-Wert-Bestimmung)

In diesem, allerdings auch *nur* in diesem Kontext der Stabilität und der *Sauberkeit und Genauigkeit des Chemikalientransports* nehmen die SchülerInnen auf den Materialwert klassischer Labormaterialien Bezug und beschreiben jene Materialien als hochwertiger. Dabei differenzieren die SchülerInnen jedoch zwischen (umfunktionierten) Alltagsmaterialien und Materialien der Medizintechnik. So wird der Transport von Flüssigkeiten beim Einsatz von Kunststoffspritzen und Kanülen als wesentlich akkurater wahrgenommen als die, von den SchülerInnen so bezeichnete, „Kipp-Schütt-Technik“ von Flüssigkeiten aus Chemikaliengefäßen in Bechergläser oder von Becher- in Reagenzgläser.

Letztlich argumentieren die SchülerInnen bezüglich eines Einflusses des Experimentiermaterials auf ihren kognitiven Fokus mit dem Argument der Übersichtlichkeit an ihrem Arbeitsplatz, die von den SchülerInnen wiederum unterschiedlich eingestuft wird. Vergleichsweise wenige SchülerInnen argumentieren mit einem übersichtlicheren Arbeitsplatz im Kontext klassischer Labormaterialien, da lediglich *Grobes statt viel Kleinzeug* (hier stark angelehnt an die Wortwahl der SchülerInnen) am Arbeitsplatz vorzufinden ist. Ein Großteil der SchülerInnen jedoch nennt stattdessen eine stärkere Übersicht am Arbeitsplatz beim Experimentieren als Aspekt, der ihnen beim Experimentieren mit alternativen Materialien gut gefallen hat ($N = 23$ Nennungen im Rahmen der offenen Fragen, Rang 10/ 19).

Ergebnis Hypothese 2

Das Experimentiermaterial hat im Rahmen von qualitativen Schülerexperimenten keinen Einfluss auf die Beobachtbarkeit des Experiments.

Das Ergebnis der quantitativen Erhebung bestätigt die Hypothese der Lehrkräfte, dass das Experimentiermaterial keinen Einfluss auf die Beobachtbarkeit eines qualitativen Schülerexperiments hat. In beiden Experimentvarianten können den Ergebnissen der Fragebogenerhebung zufolge alle für eine vollständige Versuchsbeobachtung relevanten Aspekte präzise, detailliert und unmittelbar beobachtet werden.¹⁷ Mit Blick auf die Validität dieses Ergebnisses sei erwähnt, dass dem Videomaterial entnommen werden kann, dass alle Experimentierpaare mit beiden Materialpools funktionsfähige Versuchsaufbauten aufstellen konnten, mit denen alle für eine vollständige Beobachtung erforderlichen Effekte erzeugt und somit beobachtet werden konnten.

Trotz des eindeutigen Ergebnisses der Fragebogenerhebung wurden im Rahmen der Gruppeninterviews wiederum intensive Aushandlungsprozesse bezüglich der Beobachtbarkeit der Experimente geführt. Sowohl das Kategoriensystem der Schülerinterviews als auch das Kategoriensystem der offenen Fragen weisen daher Kategorien auf, die trotz bestätigter Hypothese auf Unterschiede in der Qualität der Beobachtbarkeit beider Materialvarianten hinweisen. So nimmt die eingeschränkte Beobachtbarkeit von Experimenten in alternativer Materialvariante beziehungsweise die genauere Beobachtbarkeit von Experimenten in klassischer Materialvariante mit $N = 54$ Nennungen Rang 2 der häufigsten Aspekte ein, die den SchülerInnen der Untersuchungsgruppe 1 und 2 beim Experimentieren mit den jeweiligen Materialien (nicht) gefallen haben. Aufgrund einer folglich anzunehmenden Relevanz des Einflusses des Experimentiermaterials auf die Beobachtbarkeit von Experimenten, wird das eindeutige Fragebogenergebnis durch die Schülerinterviews näher untersucht. In diesen formulieren die SchülerInnen konkret einen Einfluss des Experimentiermaterials auf die Effektdauer (i), die Intensität der (Farb-) Effekte (ii), die Ganzheitlichkeit der Versuchsbeobachtung (iii) sowie auf die Möglichkeit zur Dokumentation der beobachteten Effekte (iv). Die Ergebnisse zu diesen als materialabhängig beschriebenen Aspekten einer Versuchsbeobachtung werden im Folgenden zusammengefasst:

¹⁷ Eine Ausnahme stellen einzelne Brennproben im Rahmen der Destillation (E I) dar, die sowohl in alternativer als auch klassischer Variante nicht immer gelangen. Der Effekt der Stofftrennung konnte dennoch in allen Destillationen beobachtet werden.

(i) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Effektdauer: Die SchülerInnen beschreiben mehrfach, dass eine längere Dauer bis zum Einsatz der zu beobachtenden Vorgänge ebenso wie ein längeres Anhalten der Effekte eine *detailliertere Versuchsbeobachtung* ermöglichen. Aufgrund der Abhängigkeit der Effektdauer von der eingesetzten Chemikalienmenge, von der Größe der Einzelmaterialien und damit, gegebenenfalls, auch von der Länge der Wege für entstehende Produkte (hier bezogen auf die Destillationsapparatur und den Gasentwickler) beschreiben die SchülerInnen folglich eine bessere Beobachtbarkeit der Vorgänge in der klassischen Experimentvariante und eine größere Gefahr des Verpassens der zu beobachtenden Vorgänge im Rahmen alternativer Experimentvarianten. Der Einfluss der geringeren Größe alternativer Experimentiermaterialien und Versuchsaufbauten auf die Qualität der Beobachtbarkeit wird vor allem dann als relevant beschrieben, wenn sich *einzelne Effekte überlagern*. Sich überlagernde Effekte werden sowohl im Rahmen der Elektrolyse in der Blisterpackung (E II) als auch dem Gasentwickler in alternativer Variante (E IV) beobachtet:

Ja und zwar beim ersten da, mit den Minen [Kontext: alternatives Experimentiermaterial], hat sich wie so 'ne schwarze Schicht über die ganze Öffnung von diesem Tablettending gebildet und beim zweiten Experiment [Kontext: klassisches Labormaterial] war da gar keine so 'ne Schicht. Da war einfach nur das Kupfer auf der einen Seite und auf der anderen Seite nur so Blasen. (SchülerIn 17, E II, Elektrolyse)

Demnach ist die Oberfläche der Blistervertiefung so klein, dass innerhalb kurzer Zeit die gesamte Oberfläche der Lösung schwarz erscheint und die Vorgänge an den einzelnen Elektroden gänzlich verdeckt werden. Dem entgegen erlaubt der klassische, größere Aufbau der Elektrolyse eine deutlichere und dauerhafte Trennung der Reaktionsräume. Entsprechend des zu Hypothese 1 bereits beschriebenen Vorteils längerer Reaktionswege auf die Durchschaubarkeit klassischer Versuchsapparaturen führen die SchülerInnen auch in Bezug auf die Beobachtbarkeit von Experimenten in klassischer Materialvariante an, dass eine längere Dauer der Effekterzeugung und somit Versuchsbeobachtung eine *intensivere Auseinandersetzung* mit der Apparatur und damit den Vorgängen als solche ermöglicht:

Also ich fand' das Beobachten war wirklich mit der Zeit, also wenn es langsamer ist, besser als mit A, als so schnell. Weil wenn man sich länger auf etwas konzentrieren kann, denkt man auch mehr nach 'wie passiert da gerade was? Was passiert da gerade?' (SchülerIn 41, E IV, Gasentwicklung und -nachweis)¹⁸

¹⁸ An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass einzelne Experimentierpaare eine größere Menge Brausetablette verwendeten als angegeben, sodass eine starke Gasentwicklung zu beobachten war. Da das Argument jedoch auf andere Experimente übertragen werden kann (hier z.B. auf die Destillation E I), soll es hier dennoch angeführt werden.

(ii) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Intensität der (Farb-) Effekte: Die Intensität der zu beobachtenden Effekte wird in Abhängigkeit von der Größe der Materialien und der eingesetzten Chemikalienmenge beurteilt. So beschreiben die SchülerInnen, dass Farbeffekte in der klassischen Experimentvariante stärker wahrzunehmen sind als in der alternativen Materialvariante (hier im Rahmen von E II, E III und E IV). Solange der Farbeffekt jedoch beobachtet werden kann, hat dessen Intensität noch keinen Einfluss auf die Vollständigkeit der Versuchsbeobachtung. Diesbezüglich von den SchülerInnen als problematisch beschrieben werden hingegen Low-Cost-Experimente, die auf Farbumschlägen von Indikator-Lösungen beruhen. So führt das geringe Volumen der Blistervertiefung und damit die geringe Menge der zu prüfenden Ausgangssubstanz in Experiment III (pH-Wert-Bestimmung) beispielsweise dazu, dass die Eigenfarbe des Rotkohllindikators einen wesentlich größeren Einfluss auf den Farbeffekt der Versuchsbeobachtung hat, als wenn der Rotkohllindikator im Rahmen der Experimentvariante mit klassischem Labormaterial auf mehrere Milliliter Ausgangssubstanz innerhalb eines Reagenzglases gegeben wird. Auch im Rahmen der Titration (E V) geben die SchülerInnen an, dass das richtige *Mengenverhältnis* von Probensubstanz und Indikatorlösung im Rahmen von Experimenten mit kleineren alternativen Experimentiermaterialien demnach von größerer Bedeutung und der Farbeffekt *anfälliger* ist als im Rahmen klassischer Experimentvarianten.

(iii) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Ganzheitlichkeit der Versuchsbeobachtung: Die SchülerInnen beschreiben einen Einfluss der Instabilität alternativer beziehungsweise Stabilität klassischer, selbststehender oder mit Stativmaterial fixierter Versuchsaufbauten auf die Versuchsbeobachtung. So können sich die SchülerInnen im Rahmen klassischer Versuchsaufbauten stärker auf die *Versuchsbeobachtung fokussieren*, da sie keine Aufmerksamkeit für die manuelle Halterung der Experimentiermaterialien aufbringen müssen:

Man hat die Hände frei und dadurch kann man sich mehr darauf fokussieren, das Experiment [Kontext: klassisches Labormaterial] richtig zu beobachten, weil man dann seine Hände auch weglassen kann und nur noch die Augen braucht, um reinzuzucken. (SchülerIn 17, E II, Elektrolyse)

Diese Argumentation deckt sich mit dem zu Hypothese 1 bereits beschriebenen Einfluss der Stabilität klassischer Versuchsaufbauten auf den kognitiven Fokus der SchülerInnen beim Experimentieren.

Im Kontext von Experimenten, die in ihrer alternativen Materialvariante auf Blisterpackungen zurückgreifen (hier E II; E III), wird als weitere Einschränkung der Vollständigkeit der Versuchsbeobachtung außerdem beschrieben, dass die Blisterpackung lediglich eine, so wortwörtlich, „2D- statt einer 3D-Perspektive“ auf den zu beobachtenden Effekt ermöglicht und dieser demnach nur aus der *Vogelperspektive* betrachtet werden kann, wohingegen ein klassisches Reagenz- oder Becherglas eine *rundum* Versuchsbeobachtung erlaubt. Die SchülerInnen machen im Zuge dessen selbstständig auf Fällungsreaktionen oder Experimente zur Löslichkeit von Stoffen aufmerksam, für die sich der Einsatz klassischer Labormaterialien somit besser eignet. Weitere von den SchülerInnen genannte Vorteile klassischer Labormaterialien in Bezug auf die Beobachtung von Einzeleffekten sind auf die funktionale Beschaffenheit der Materialien zurückzuführen, hier im Kontext der Destillation (E I), der Gasentwicklung (E IV) und der Titration (E V). So verdeckt das Teelicht zur Kühlung des Destillats das eigentliche Produkt der Destillation und aufgrund des in das Destillier-Gläschen ragenden Schlauches kann das Eintropfen des Destillats nicht so gut beobachtet werden wie in der klassischen Versuchsanordnung (s. Abbildung 9). Bezüglich der Titration und der Skalenlesbarkeit von (Insulin-) Spritzen als Büretten- oder Kolbenprober-Ersatz merken die SchülerInnen wiederum an, dass die größere Skala auf Kolbenprobern oder Büretten rein visuell besser abzulesen ist. Im Vergleich zur klassischen Bürette erschwert die Trübung und einfache Abnutzung der Beschriftung auf der Insulinspritze die Lesbarkeit der Skala zusätzlich.¹⁹ Rein organisatorisch setzen die SchülerInnen für eine vollständige Versuchsbeobachtung eines Experiments in alternativer Materialvariante außerdem *kleine Gruppengrößen* voraus:

Ja also bei dem Versuch A [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] wäre es ein bisschen schwieriger, wenn mehr Leute um einen herum sind. Wenn man es nur zu zweit macht, dann ist es einfacher. Dann kann man es auch besser erkennen, als wenn mehr da stehen. (SchülerIn 16, E II, Elektrolyse)

(iv) Einfluss des Experimentiermaterials auf die Dokumentation der Versuchsbeobachtung: Durch die insgesamt geringere Größe alternativer Versuchsaufbauten, den Verzicht auf Stativmaterial sowie den damit verbundenen geringeren Aufbauwand beschreiben SchülerInnen den Vorteil, dass mehr Platz für eine zum Experimentieren *parallel laufende Dokumentation* sowie *mehr Zeit für die Dokumentation* und letztlich auch *Versuchsauswertung* zur Verfügung steht. Im Zuge der reduzierten Chemikalienmenge

¹⁹ Zur mehrfachen Verwendung sollte die teilweise nicht wischfeste Graduierung der Kunststoffspritzen mit transparentem Klebeband abgeklebt werden.

nennen die SchülerInnen außerdem das Potential der *effizienten Effektwiederholbarkeit*, hier im Kontext der Titration mit alternativem Experimentiermaterial (E V). Neben diesen eher organisatorischen Vorteilen formulieren die SchülerInnen jedoch auch, dass sich die bereits beschriebenen intensiveren (Farb-) Effekte sowie die detaillierteren Beobachtungsmöglichkeiten von Experimenten mit klassischem Labormaterial im Umkehrschluss positiv auf die Qualität der Dokumentation auswirken. An dieser Stelle sei bereits auf Kategorien des zusätzlichen Selektionskriteriums der Authentizität verwiesen. Danach verknüpfen die SchülerInnen eine *qualitativ gute Dokumentation* der Versuchsbeobachtung mit dem Aspekt der *Wissenschaftlichkeit*, die beim Einsatz klassischer Labormaterialien – in der Wahrnehmung der SchülerInnen – stärker ausgeprägt ist:

So [Kontext: klassisches Labormaterial] kann man auch viel kleinere Sachen besser erkennen, weil eben das Glas größer ist, mehr Flüssigkeit drin ist. Da kann man auch wirklich mehr Unterschiede erkennen und es ist glaube ich in der Wissenschaft sehr wichtig, dass man etwas wirklich sehr detailliert protokollieren will. Deswegen ist es auch wirklich besser, wenn man auch wirklich kleinere Details erkennen kann. (SchülerIn 17, E II, Elektrolyse)

Im Zuge dieser unterschiedlichen Dauer beider Materialvarianten entsteht bei den SchülerInnen letztlich auch der Eindruck einer unterschiedlichen Qualität der Versuchsbeobachtung und damit – ihrer Wahrnehmung nach – auch ein Qualitätsunterschied in dem durch das Experiment vermittelten Fachinhalt. So wird die alternative Materialvariante zwar als *prinzipiell ausreichend*, jedoch gleichzeitig als „Schnelltest-Experiment“ eingestuft, wohingegen die jeweils klassische Materialvariante als diejenige wahrgenommen wird, an der man „erst sehen [kann], ob man es richtig verstanden hat oder nicht“ (SchülerIn 44, E IV, Gasentwicklung und -nachweis). An dieser Stelle schreiben die SchülerInnen den klassischen Labormaterialien eine stärkere inhaltliche Relevanz für das Lernen im Chemieunterricht zu, worin sich auch ein *stärker* wahrgenommener *Fachbezug* und ein von den SchülerInnen formuliertes, stärkeres *Forscherpotential* klassischer Labormaterialien äußert:

Also ich find' jetzt, wenn man etwas GENAU herausfinden will, also jetzt irgendwas testen will oder so irgendwas sozusagen erfinden will, dann finde ich, dass das [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] nicht so gut ist, weil man braucht eher Größere und ein bisschen länger, dass es ein bisschen länger dauert. Aber wenn man was Schnelles haben will, da finde ich natürlich das andere [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] besser, weil es natürlich auch schneller ist. (SchülerIn 27, E III, pH-Wert-Bestimmung)

Ergebnis Hypothese 3

Das Autonomieerleben von SchülerInnen ist beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien höher als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial.

Quantitativ konnte ein signifikant stärkeres Autonomieerleben der SchülerInnen beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial im Vergleich zu alternativen Experimentiermaterialien festgestellt werden. Anders als zu den vorherigen Hypothesen finden sich in den entwickelten Kategoriensystemen aus Studie II wenige Anhaltspunkte, die dieses Ergebnis erklären oder näher beschreiben. Bezüglich des Autonomieerlebens der SchülerInnen beim Experimentieren konnte lediglich eine Kategorie gebildet werden, die noch dazu dem Ergebnis des Hypothesentests entgegensteht. So nehmen einzelne SchülerInnen positiv wahr, dass beim Experimentieren mit dem Bunsenbrenner Raum für eigene Experimentierentscheidungen, hier im Sinne von *Einstellentscheidungen*, besteht:

Ja mir macht das auch mehr Spaß mit dem Gasbrenner zu arbeiten, weil man da auch einstellen kann. Da kann man viel mehr variieren und selber entscheiden ‘mache ich jetzt die Flamme stark oder schwach?’ (SchülerIn 29, E III, pH-Wert-Bestimmung)

Wenngleich von den SchülerInnen nicht selbst genannt, lässt sich dieser Argumentationsgang auch auf die Spannungsquelle im Vergleich zur Blockbatterie anwenden.

Da der Hypothesentest ein signifikantes Ergebnis zeigt, wurde zusätzlich das Videomaterial hinzugezogen. Wenngleich im Rahmen dieser Arbeit keine ausführliche Auswertung der Experimentiervideos vorgenommen wird, ist anhand der vorliegenden Experimentiervideos zu erkennen, dass alle Versuchsaapparaturen in alternativer Materialvariante von den SchülerInnen selbstständig und ohne Hilfestellung durch Außenstehende aufgebaut und durchgeführt werden konnten. Diese Beobachtung entspricht der Hypothese der Lehrkräfte aus Studie I, dass SchülerInnen beim Experimentieren mit alltags- und damit oft funktionsbekanntem alternativen Materialien auf weniger Hilfe Außenstehender angewiesen sind als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial. Im Rahmen der Destillation aus alternativem Experimentiermaterial (E I) wurden sogar selbstständig veränderte Versuchsaufbauten entwickelt, indem Hilfsmaterialien zur Stabilisierung der Apparatur hinzugezogen wurden. In den Interviews formulieren einzelne SchülerInnen diesbezüglich die Chance, Experimente mit alternativem Material sogar selbstständig in *Einzelarbeit* durchführen zu können. Für den Aufbau klassischer Versuchsaufbauten hingegen zogen einzelne Schülerpaare die Hilfe außenstehender Personen

hinzu, teilweise die der Lehrkraft, teilweise wurden MitschülerInnen um Unterstützung gebeten. Konkrete Schwierigkeiten traten bei der Bedienung der Stellschrauben des Bunsenbrenners, beim Anbringen von Muffen und Klemmen an Stative sowie bei der Bedienung des Kolbenprobers auf. Aufgrund dieser Videobeobachtungen ist zu vermuten, dass das stärkere Autonomieerleben der SchülerInnen beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien tatsächlich auf eine stärker wahrgenommene Unabhängigkeit von Hilfestellungen beim Experimentieren zurückzuführen ist. Diese Vermutung muss jedoch durch weitere Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen dem Autonomieerleben und der Materialvariable überprüft werden.

Ergebnis Hypothese 4

SchülerInnen empfinden beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial eine stärkere Anspannung/ einen höheren Druck als beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien.

Die Anspannung/ der Druck beim Experimentieren wird von den SchülerInnen beim Einsatz klassischer Labormaterialien als signifikant stärker wahrgenommen als beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien. Auch in den Schülerinterviews wird experimentübergreifend eine *Anspannung* und ein gewisser *Respekt* beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial beschrieben, wobei sich die Begründung dafür mit der Begründung für den stärker wahrgenommenen Grad der Herausforderung deckt. Auch die höhere Anspannung/ der höhere Druck ist auf eine komplexere Bedienung der Einzel-Labormaterialien sowie auf eine gedanklich vorgenommene und im Zuge klassischer Labormaterialien höher ausfallende *Gefährdungsbeurteilung* und *Folgenabschätzung* aus Chemikalienmenge, Robustheit der Materialien, Materialwert und Gefahrenpotential zurückzuführen. Von den SchülerInnen genannte Beispiele betreffen mögliche Spannungswerte der jeweils eingesetzten Spannungsquellen, die Gefahr des Glasbruches oder den Einsatz von Bunsenbrennern statt Teelichtern. Auch innerhalb der offenen Fragen wird die geringere Anspannung beim Experimentieren mit Teelichtern statt Bunsenbrennern als Aspekt genannt, der SchülerInnen beim Experimentieren mit den Materialien gefällt. In den Interviews formulieren einzelne SchülerInnen beispielsweise eine *Angst vor Feuer* oder dem Umgang mit Bunsenbrennern. Die Verwendung alltagsbekannter Teelichter vermittelt ihnen stattdessen ein beruhigendes *Vertrautheitsgefühl* und das *Gefühl von Sicherheit* beim Experimentieren. Dabei variiert die wahrgenommene Anspannung beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial von einer lediglich

stärker wahrgenommenen Konzentration („da musste man sich auch ein bisschen viel konzentrieren“, SchülerIn 44, E IV, Gasentwicklung und -nachweis) bis hin zu einer tatsächlich formulierten Angst („deswegen hatte ich ein bisschen Angst davor“ (SchülerIn 6, E I, Destillation). Auch experimentelle Fehler ihrerseits werden von den SchülerInnen im Rahmen von Experimenten mit klassischem Labormaterial als folgenreicher eingestuft als in der jeweiligen Variante mit alternativem Material. Unter Begründung des Gefahrenpotentials genannte Beispiele sind befürchtete Fehler in der Schaltung klassischer Spannungsquellen (E II) oder der Bedienung des Bunsenbrenners (E I, E III).

Statt einer gewissen Ängstlichkeit im Umgang mit den Materialien formulieren andere SchülerInnen am Beispiel des Bunsenbrenners wiederum eine Routine im Umgang mit klassischem Labormaterial als *wünschenswertes Lernziel* im Chemieunterricht und Form der Weiterentwicklung der eigenen experimentellen Fähigkeiten. Im Zuge dessen wird von einigen SchülerInnen formuliert, dass ein gewisses Gefahrenpotential das Experimentieren auch spannender macht („das Risiko [...] das macht es auch spannender“, SchülerIn 35, E III, pH-Wert-Bestimmung). Auch in den offenen Fragen werden eine Freude am Umgang mit dem Bunsenbrenner sowie an Materialien mit „weniger Spielcharakter“ insgesamt $N = 27$ mal (Rang 6/ 19) als Aspekte genannt, die den SchülerInnen an der klassischen Material-Variante gut gefallen. Lediglich der Einsatz von Kanülen wird in beiden Experimenten zur Medizintechnik, beziehungsweise hier vor allem zur Spritzentechnik (E IV, E V), als *kritisch* beschrieben. So fordern Kanülen von einigen SchülerInnen eine *nötige Überwindung*: „Da hat halt jeder schon so ein bisschen, uh, ist einem schon so ein bisschen suspekt mit diesen Kanülen“ (SchülerIn 41, E IV, Gasentwicklung und -nachweis). Dabei berufen sich die interviewten SchülerInnen auf Erfahrungen bei Arztbesuchen oder Krankenhausaufenthalten, aus denen eine gewisse *Angst vor Spritzen und Kanülen* resultiert.

Wenngleich ein Vergleich der Perspektive der Lehrkräfte und der SchülerInnen erst im Zuge der Ergebnisinterpretation folgt (s. Abschnitt 6), sei an dieser Stelle bereits erwähnt, dass folglich sowohl die befragten Lehrkräfte als auch die SchülerInnen im Allgemeinen selbst davon ausgehen, dass vor allem eher experimentierängstliche SchülerInnen sowie SchülerInnen, die sich in Bezug auf das Experimentieren mit klassischem Labormaterial wenig zutrauen (s. Studie I, Tabelle 11), bei der Konfrontation mit alternativen Experimentiermaterialien eine geringere Hemmschwelle im Umgang mit den Materialien zeigen

als bei der Begegnung mit klassischem Labormaterial. Der von beiden Perspektiven angenommene Zusammenhang zwischen einer gewissen Besorgtheit vor dem Experimentieren, dem Vertrauen in die eigenen Experimentierfähigkeiten und der Präferenz für alternatives Experimentiermaterial kann an dieser Stelle, aufgrund der aus der Begleiterhebung vorliegenden Daten zu den Selbstwirksamkeitserwartungen der SchülerInnen in Bezug auf das Experimentieren, nachträglich geprüft werden. Ein t-Test für unabhängige Stichproben zeigt für Untersuchungsgruppe 1 und 2 jedoch **keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Selbstwirksamkeitserwartungen der SchülerInnen beim Experimentieren und ihrer Präferenz für alternatives Experimentiermaterial oder klassisches Labormaterial** (s. Tabelle 28).

Tabelle 28

t-Test zum Zusammenhang zwischen den Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren und Materialpräferenzen der SchülerInnen

| Variable | Präferenz alternatives Experimentiermaterial | | Präferenz klassisches Labormaterial | | <i>t</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | Cohen's <i>d</i> |
|----------|--|-----------|-------------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|------------------|
| | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | | | | |
| | Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren | 3,936 | 0,590 | 4,011 | | | | |

p* < 0,1 *p* < 0,05 ****p* < 0,01.

Ergebnis Hypothese 5

Zwischen dem Kompetenzerleben der SchülerInnen und dem Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischem Labormaterial besteht kein Zusammenhang.

Durch die Fragebogenerhebung konnte kein Zusammenhang zwischen dem verwendeten Experimentiermaterial und dem Kompetenzerleben der SchülerInnen festgestellt werden. Da die Items der dabei verwendeten Skala die Zufriedenheit mit der eigenen Leistung und dem eigenen experimentellen Geschick fokussieren, werden zur näheren Erläuterung dieses Ergebnisses im Folgenden diejenigen Kategorien fokussiert, die das handwerkliche Geschick und die motorischen Fähigkeiten der SchülerInnen im Umgang mit den Experimentiermaterialien betreffen. Der Mixed-Method-Ansatz erweist sich auch an dieser Stelle als wertvoll, da ein Blick in die Interviewergebnisse das Ergebnis des Hypothesentests bestätigt. So gibt es experimentübergreifend sowohl SchülerInnen, die *Schwierigkeiten mit der Feinmotorik* im Rahmen kleinerer alternativer Experimentiermaterialien

beschreiben und im Vergleich dazu die *Griffigkeit* größerer klassischer Labormaterialien positiv hervorheben. Andererseits gibt es ebenso experimentübergreifend SchülerInnen, die aus der Perspektive ihrer motorischen Fähigkeiten gerade die *Handlichkeit* kleinerer alternativer Experimentiermaterialien hervorheben und diese der für sie hinderlichen *Sperrigkeit* klassischer Labormaterialien gegenüberstellen. Das Ergebnis der offenen Fragen zeigt dabei eine im Vergleich stärkere Präferenz für die Griffigkeit klassischer Labormaterialien ($N = 36$ Nennungen), dennoch ist an dieser Stelle von einem Einfluss variierender motorischer Fähigkeiten und/ oder handwerklicher Vorlieben der SchülerInnen auf ihr Kompetenzerleben beim Experimentieren auszugehen, über die an dieser Stelle keine weiteren Informationen vorliegen.

Ergebnis zu Hypothese 6

Das Experimentiermaterial hat keinen Einfluss auf das empfundene Interesse/ Vergnügen der SchülerInnen beim Experimentieren.

Folgeergebnisse:

6.1 Experimente mit (umfunktionierten) Alltagsmaterialien werden als weniger interessant wahrgenommen/ mit weniger Vergnügen durchgeführt als das jeweilige Experiment mit klassischem Labormaterial.

6.2 Experimente mit der Medizintechnik, darunter der Sprizentechnik insbesondere, werden als interessanter wahrgenommen/ mit mehr Vergnügen durchgeführt als das jeweilige Experiment mit klassischem Labormaterial.

Das Ergebnis der Fragebogenerhebung zeigt, dass SchülerInnen beim Experimentieren mit (umfunktionierten) Alltagsmaterialien signifikant weniger Interesse/ Vergnügen wahrnehmen als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial und das Experimente mit der Sprizentechnik als signifikant interessanter wahrgenommen/ mit mehr Vergnügen durchgeführt werden als das jeweilige Experiment mit klassischem Labormaterial. Bevor diese Ergebnisse im Folgenden näher erläutert werden, sei betont, dass im Rahmen der qualitativen Datenerhebung über alle fünf Experimente hinweg und in 45 der 56 vorliegenden Interviewtranskripte die Kategorie *Hauptsache experimentieren* kodiert wurde. Demnach formulieren auch die interviewten SchülerInnen auf Rückfrage zwar Materialpräferenzen, dennoch zeigt sich ein Großteil der SchülerInnen darin einig, dass ihre Priorität darauf liegt, im Chemieunterricht *überhaupt* experimentieren zu können.

In den Ergebnissen der Schülerinterviews und der offenen Fragen lassen sich dennoch Hinweise finden, die einen Einfluss des Experimentiermaterials auf das von SchülerInnen

empfundene Interesse/ Vergnügen beim Experimentieren beschreiben und dabei zeigen, dass SchülerInnen bei der Betrachtung des alternativen Materialpools und ihrem wahrgenommenen Interesse/ Vergnügen konkret zwischen Materialien der Medizintechnik und (umfunktionierten) Alltagsmaterialien differenzieren. So ist auffällig, dass nur SchülerInnen der Experimente I- III, in denen die alternative Materialvariante auch mit (umfunktionierten) Alltagsmaterialien realisiert wurde, ein stärkeres individuelles *Professionalitätsgefühl* beim Experimentieren mit der jeweils klassischen Experimentvariante formulieren:

- (i) [Wenn ich die Wahl hätte], ich würde auch zur B-Variante greifen, weil die A-Variante, das sieht so aus, als ob man das auch zuhause machen kann. Und wenn man das Große hat, was man auch im Labor benutzt, dann fühlt man sich irgendwie besser und freut sich so, dass man jetzt auch die Sachen benutzen darf, die auch im richtigen Labor benutzt werden. (SchülerIn 32, E III, pH-Wert-Bestimmung)
- (ii) Also ich finde, du fühlst dich halt, es geht ja auch ein bisschen für mich darum im Chemieunterricht, dass ich mich wie ein Chemiker fühle so ein bisschen, dass du auch Spaß dabei hast. Und dafür muss ich ehrlich sagen, da finde ich die größeren Sachen von B ein bisschen interessanter, weil du kannst halt sehen, damit haben schon richtige Leute gearbeitet. Zum Beispiel Sie [gemeint: Gesprächsleitung] haben ja jetzt die Sachen von der Uni auch mitgebracht und da kannst du ja auch denken ‘cool, ich darf jetzt schon mit Sachen arbeiten, mit denen eigentlich nur Erwachsene arbeiten’ und das ist auch so ein bisschen cool. Das seh’ ich halt beim Kleinen so ein bisschen, naja, ich mach’s, es macht mir auch Spaß, aber ich find’ halt das Größere cooler. (SchülerIn 3, E I, Destillation)

In den Experimenten IV und V, deren alternative Materialvarianten wiederum mit der Sprizentechnik realisiert wurden, wird dieser Vergleich des eigenen Professionalitätsgefühls beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischen Labormaterialien *nicht* angestellt. Da der Einfluss individueller Gefühlszustände von SchülerInnen während einer Experimentiersituation auf ihr Interesse an der jeweiligen Situation theoretisch bereits gezeigt werden konnte (s. Abschnitt 2.4.2.2), kann in dem Gefühl von Professionalität beim Experimentieren ein relevanter Unterschied zwischen Materialien der Medizin-, und hier Sprizentechnik, und (umfunktionierten) Alltagsmaterialien vermutet werden, der sich letztlich auf das Interesse/ Vergnügen der SchülerInnen beim Experimentieren mit den entsprechenden Materialien auswirkt und die Ergebnisse zu Hypothese 6.1 und 6.2 erklären kann.

Mit Ausnahme der Titration in der Spritzentechnik (E V) wird außerdem zu jedem der fünf Experimente explizit formuliert, dass das *unbekannte, klassische Labormaterial* *interessanter* ist als das *bekannte Alltagsmaterial*:

Ich fand' es auch immer langweilig, als wir mit dem Fön arbeiten mussten, weil den kannte ich von zuhause. Dann fand' ich es besser, als wir mit anderen Materialien gearbeitet haben. Den Gasbrenner fand' ich dann viel cooler. (SchülerIn 30, E III, pH-Wert-Bestimmung)

Bezüglich *aller* Experimente wiederum werden klassische Labormaterialien – interview-übergreifend – mit Adjektiven wie *imposanter, cooler, ansprechender* beschrieben. Innerhalb des Kategoriensystems der offenen Fragen nimmt diese Beschreibung klassischer Labormaterialien mit $N = 51$ Nennungen Rang 3/ 19 der am häufigsten kodierten Kategorien ein. Mit $N = 20$ weiteren Nennungen sowie vielfachen Aussagen in den Interviews formulieren die befragten SchülerInnen außerdem eine gewisse *Besonderheit von Fachmaterialien* als denjenigen Aspekt, der ihnen an klassischen Labormaterialien gut gefällt. Die SchülerInnen nennen im Zuge dessen einen *stärkeren Fach- und Industriebezug* klassischer Labormaterialien, der stets innerhalb einer Kodiereinheit mit dem Adjektiv 'interessanter' formuliert wird: „Aber mit den Reagenzgläsern ist es chemikerhafter. Das ist halt irgendwie interessanter“ (SchülerIn 25, E III, pH-Wert-Bestimmung). Im Kontext der Destillation betonen die SchülerInnen außerdem, dass durch den Einsatz von Materialien mit stärkerem Fach- und Industriebezug auch die gedankliche Übertragung auf das großtechnische Verfahren erleichtert wird. Gleichzeitig formulieren die SchülerInnen ihre *Erwartungshaltung* an das Fach Chemie, die für das Experimentieren im Chemieunterricht den Einsatz klassischer Labormaterialien vorsieht. Zwar wird das Experimentieren mit alternativen Materialien als eine *Abwechslung* zum regulären Experimentieren im Chemieunterricht wahrgenommen, nichtsdestotrotz wird der Chemieunterricht als *der* Raum für den Einsatz klassischer Labormaterialien angesehen.

Vorteile (umfunktionierter) Alltagsmaterialien in Bezug auf das Interesse/ Vergnügen der SchülerInnen beim Experimentieren werden nur vereinzelt formuliert. So zeigen sich einige SchülerInnen positiv überrascht von dem *Potential (umfunktionierter) Alltagsmaterialien* und schlagen ihren Einsatz in *Heimexperimenten* vor. Mit Blick auf das Experimentieren in der Blisterpackung im Speziellen wird außerdem das Gefühl einer stärkeren *Nähe zum Geschehen* wahrgenommen, da die Chemikalien nicht durch die Glasbarriere

der Reagenzgläser abgeschirmt werden. Das Experimentieren in der Blisterpackung beschreibt ein/e SchülerIn daher auch als *unmittelbarer*:

Aber dafür fühlt man sich bei A den Chemikalien viel mehr verbunden irgendwie. Also man hat irgendwie das Gefühl, man kann da irgendwie jede Sekunde reinfassen, wohingegen man beim Reagenzglas dann halt irgendwie ziemlich weit weg ist. Ich finde, ein Reagenzglas hat immer noch so 'ne Abschirmung irgendwie halt wie so 'ne Glaswand im Zoo und da [Kontext: Blisterpackung] [...] ist man näher dran. (SchülerIn 26, E III, pH-Wert-Bestimmung)

Da das Generieren von Motivation und Interesse theoretisch mit dem Erleben positiver Gefühlszustände untermauert wurde, sei im Zusammenhang mit dem stärker herausfordernden Versuchsaufbau beim Einsatz klassischer Labormaterialien außerdem erwähnt, dass die SchülerInnen in drei von fünf Experimenten ein stärker befriedigendes *Verhältnis aus Anstrengung und Resultat* sowie ein ausgeprägteres *Erleben von Stolz* beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial thematisieren.²⁰ Dieses positive Gefühl wird nach Aussagen der SchülerInnen auch dadurch gestützt, dass ihnen, vor allem aufgrund des potentiellen Glasbruchs, ein stärkeres Verantwortungsgefühl beim Experimentieren übertragen wird:

- (i) Bei B ist es vielleicht so für manche, dass man, man hat zwar viel zu tun aber im Endeffekt, wenn man auf ein Ergebnis kommt, denkt man sich so 'oah ich hab' das jetzt geschafft und ich hab' das alleine aufgebaut und so' und bei der A kommt es nicht so viel rüber, weil man nicht so viel macht. (SchülerIn 14, E II, Elektrolyse)
- (ii) Es macht irgendwie mehr Spaß und ist dann auch am Ende, wenn man dann ein Ergebnis hat, irgendwie besser. Es ist sau schwer zu sagen. Ich find' irgendwie, wenn man ein bisschen länger darauf hinarbeiten muss, bis man zu einem Ergebnis kommt und am Ende klappt das halt, finde ich es irgendwie besser, als wenn man nur fünf Minuten da was reinmacht und fertig. (SchülerIn 48, E V, Titration)

Entsprechend der theoretischen Vorarbeit zu Zusammenhängen zwischen dem empfundenen Grad der Herausforderung und dem Interesse von SchülerInnen an einer Experimentiersituation (s. Abschnitt 2.4.2.2), gehen auch die SchülerInnen an dieser Stelle von einer *Typenabhängigkeit* aus. Sie selbst vermuten, dass komplexere, stärker herausfordernde, klassische Versuchsaufbauten eher von bereits am Experiment und am Experimentieren interessierten SchülerInnen präferiert werden:

²⁰ Ein solches Gefühl formulieren die SchülerInnen auch im Rahmen der Elektrolyse (E II), was als weiterer Hinweis darauf interpretiert werden kann, dass auch dieses Experiment – im Gegensatz zum Ergebnis des Hypothesentests zu H1 – in klassischer Materialvariante als herausfordernder wahrgenommen wird.

Ich glaube, die Taschenvariante [Kontext: alternatives Experimentiermaterial] ist vielleicht so zum Einsteigen viel besser. Weil wenn man noch nicht sicher ist ‘mag ich das oder mag ich das nicht?’, kann man erstmal damit gucken: ‘Ok, hat mir das gefallen? Fand’ ich das spannend?’ Ja? Dann kann ich sagen: ‘Gut, dann kann ich vielleicht auch auf die größeren Sachen zugreifen und da kann man auch gucken, auf Details eingehen und dann auch genauere Sachen beobachten’. (SchülerIn 17, E II, Elektrolyse)

Um zu testen, ob sich dieser von den SchülerInnen angenommene Zusammenhang auch durch quantitative Daten bestätigen lässt, wurden zusätzlich Analysen zu Zusammenhängen zwischen dem Interesse der SchülerInnen an Chemie (stellvertretend für das Interesse am konkreten Experiment) sowie ihrem Interesse am Experimentieren und ihrer Präferenz für den einen oder anderen Materialpool als bevorzugtes Material für den Einsatz im Chemieunterricht durchgeführt. Ein t-Test für unabhängige Stichproben zeigt tatsächlich einen **signifikanten Zusammenhang beider Schülermerkmale mit der Schülerpräferenz** (s. Tabelle 29), nach dem **SchülerInnen mit hohem Interesse an Chemie und am Experimentieren signifikant häufiger klassisches Labormaterial präferieren**.

Tabelle 29

t-Test zum Zusammenhang zwischen dem Interesse an Chemie sowie dem Interesse am Experimentieren und Materialpräferenzen der SchülerInnen

| Variable | Präferenz alternatives Experimentiermaterial | | Präferenz klassisches Labormaterial | | <i>t</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | Cohen's <i>d</i> |
|------------------------------|--|-----------|-------------------------------------|-----------|----------|-----------|----------------|------------------|
| | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | | | | |
| Interesse an Chemie | 3,769 | 0,980 | 4,048 | 0,806 | - 1,958 | 167 | 0,052* | -0,311 |
| Interesse am Experimentieren | 3,621 | 0,617 | 3,854 | 0,533 | - 2,515 | 167 | 0,013** | - 0,404 |

* $p < 0,1$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,01$.

Ob SchülerInnen mit geringerem Interesse an Chemie und am Experimentieren häufiger alternatives Experimentiermaterial präferieren, weil diese mit einer Einfachheit der Bedienung und einer Einfachheit und Zügigkeit des Auf- und Abbaus von Versuchsaapparaturen einhergehen, kann an dieser Stelle nur vermutet werden. Zur Untermauerung dieser Vermutung wird exemplarisch eine Aussage von SchülerIn 22 angeführt, der/ die ein vergleichsweise geringes Interesse an Chemie und am Experimentieren aufweist und sich wie folgt äußert: „Ich möchte den Versuch schnell hinter mich bringen. Also ich möchte einfach schnell die Resultate sehen und deswegen war es für mich weniger gut, dass die B so lange dauert“ (SchülerIn 22, E II, Elektrolyse).

Bevor die hier dargelegten Ergebnisse vor dem theoretischen Hintergrund der Arbeit interpretiert und die Perspektiven von Lehrkräften und SchülerInnen miteinander verglichen werden (s. Abschnitt 6), werden im Folgeabschnitt Limitationen der sowohl quantitativen als auch qualitativen Datenerhebung sowie der entsprechend generierten Ergebnisse zusammengefasst.

5.6 Limitationen

5.6.1 Limitationen der quantitativen Ergebnisse

Da, im Gegensatz zu Untersuchungsgruppe 3, für Untersuchungsgruppe 1 und 2 kein Videomaterial vorliegt, konnte auf Klassenebene nicht kontrolliert werden, ob die SchülerInnen einer Kleingruppe sich jeweils gleichermaßen am Versuchsaufbau und der Versuchsdurchführung beteiligten. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch diejenigen SchülerInnen den Fragebogen ausgefüllt und ihre Wahrnehmung der Experimentiersituation beurteilt haben, die nicht unmittelbar mit den Experimentiermaterialien hantiert haben. Indem in Zweier- bis maximal Dreier-Gruppen gearbeitet wurde, ist die Wahrscheinlichkeit jedoch hoch, dass jede/r SchülerIn mit den Materialien experimentiert hat. Neben der Tatsache potentiell unterschiedlicher Aktivität der SchülerInnen soll außerdem darauf hingewiesen sein, dass für die hier durchgeführten Hypothesentests die Daten aller SchülerInnen gemeinsam ausgewertet wurden und nicht berücksichtigt wurde, dass die verschiedenen Experimente von SchülerInnen verschiedenen Alters und damit verschiedener Reflexionsfähigkeit sowie Fähigkeiten zur Einschätzung der eigenen Leistung und der eigenen Wahrnehmung in einer Lernsituation beurteilt wurden. Mit Blick auf die interne Konsistenz der verwendeten Messskalen sei außerdem an den in Abschnitt 5.5.1 bereits kritisierten Cronbachs α -Wert für die Skala der von SchülerInnen wahrgenommenen Herausforderung in der jeweiligen Experimentiersituation erinnert, der unter dem geforderten Schwellenwert von 0,7 liegt (Schmitt, 1996). Entsprechende Ergebnisse müssen folglich vor dem Hintergrund dieses Skalenwerts interpretiert werden; eine Überarbeitung des Messinstruments im Kontext weiterführender Forschung ist wünschenswert. Bezüglich der Interpretation der varianzanalytischen Ergebnisse auf *Experimentebene* ist zusätzlich die geringe Gruppengröße zu berücksichtigen; so sind die Gruppen ‘alternatives Experimentiermaterial’ beziehungsweise ‘klassisches Labormaterial’ mit

durchschnittlich jeweils 23,4 SchülerInnen pro Experiment besetzt. Bei der Interpretation der t-Test-Ergebnisse zu Zusammenhängen zwischen den Schülermerkmalen ‘Interesse’ und ‘Selbstwirksamkeitserwartungen’ und der Präferenz der SchülerInnen für alternativen beziehungsweise klassisches Material (s. Tabelle 28, Tabelle 29) muss abschließend berücksichtigt werden, dass die SchülerInnen der Untersuchungsgruppe 1 und 2 nicht unmittelbar vergleichend mit beiden Materialpools gearbeitet haben, sondern ihre Materialpräferenz über Bilder von Materialpendants des alternativen beziehungsweise klassischen Materialpools einstuften (s. Anhang C). Es ist anzunehmen, dass es gerade SchülerInnen niedriger Klassenstufen Schwierigkeiten bereitet hat, allein anhand von Bildmaterial eine Wahl für einen bestimmten Materialpool zu treffen, mit dem sie zukünftig, im Rahmen ihnen noch unbekannter Experimente, präferiert experimentieren wollen würden. An dieser Stelle notwendig sind Untersuchungen, die sich dediziert dem Zusammenhang zwischen Schülermerkmalen und Materialpräferenzen widmen (s. Abschnitt 7.4).

5.6.2 Limitationen der qualitativen Ergebnisse

Wie schon in Studie I wird auch die Güte der qualitativen Daten aus Studie II über die Ermittlung der Interkoder-Reliabilität sichergestellt. Dazu wurden die Schülerinterviews zu jedem der fünf betrachteten Experimente jeweils zusammengefasst und anschließend Cohens κ für jedes Experiment ermittelt. Dabei wurden jeweils 50 % der Interviews zu einem Experiment doppelt kodiert. Die konkreten Werte sind Anhang D zu entnehmen; an dieser Stelle sei erwähnt, dass κ für die Interviewdaten aller Experimente den Schwellenwert von 0,7 erreicht, sodass von einer hinreichenden Übereinstimmung der Kodierenden ausgegangen werden kann (Bortz & Döring, 2006; Fleiss & Cohen, 1973). Auch 50 % der offenen Fragen wurden doppelt kodiert; die Interkoder-Reliabilität liegt ebenfalls bei einem zufriedenstellenden Cohens-Kappa von $\kappa = 0,76$. Wie aus Abschnitt 5.5.3 hervorgeht, zeigen die Ergebnisse der Schülerinterviews und der offenen Fragen dabei deutlich übereinstimmende Ergebnisse, sodass davon ausgegangen werden kann, dass mit den Schülerinterviews Individualdaten erhoben und Ergebnisse ermittelt wurden, die auch auf Klassenebene geltend gemacht werden können. Bezüglich der Objektivität der Ergebnisse sei hervorgehoben, dass aufgrund des bewussten Verzichts auf Leistungskontrollen und Aufgaben, für die chemisches Fachwissen notwendig gewesen wäre, von weitgehend authentischen Schüleraussagen ausgegangen werden kann. Nichtsdestotrotz müssen Faktoren berücksichtigt werden, die die Wahrnehmung und somit Aussagen der

SchülerInnen beeinflusst haben können. Ein Einflussfaktor liegt dabei in der Methode des Gruppeninterviews selbst. Zwar wurde in der Methodik (s. Abschnitt 5.2) die Korrektur der Gruppe als Mittel zur Validierung der Aussagen als Vorteil des Gruppeninterviews genannt, gleichzeitig soll aber darauf hingewiesen werden, dass solch gruppendynamische Faktoren ebenso einen Nachteil für die Authentizität der Daten darstellen können, sobald sich SchülerInnen in ihren Aussagen gegenseitig beeinflussen; dies kann nicht ausgeschlossen, aber ebenso kaum verhindert werden. Auch um diesen Effekt zu reduzieren, schuf das gewählte Produkt-Tester-Setting eine wertvolle Gesprächsbasis, in der sich die SchülerInnen in ihrer Meinung ernst genommen fühlten.

Am *allgemeinen* Design von Studie II muss kritisiert werden, dass die SchülerInnen, trotz eines „Trainingsexperiments“ im Rahmen der Begleiterhebung, weiterhin *eher* klassisches Labormaterial im Chemieunterricht gewohnt sind und dieses aufgrund einer Vertrautheit eventuell positiver beurteilen als alternatives Experimentiermaterial. Auch die zeitliche Nähe von Begleit- und Haupterhebung kann einen Einfluss auf die Schülerwahrnehmung genommen haben, da innerhalb kurzer Zeit zwei materiell und inhaltlich ähnliche Experimente durchgeführt wurden. So ist beispielsweise denkbar, dass der zum Zeitpunkt der Haupterhebung bereits bekannte Versuchsaufbau mit alternativem Material als *einfacher* wahrgenommen wurde als noch im Rahmen der Begleiterhebung. Ein weiterer Einflussfaktor auf die Wahrnehmung einer Experimentierumgebung durch SchülerInnen sind deren experimentelle Fähigkeiten. Für eine Beurteilung der Validität der Ergebnisse aus der sowohl quantitativen als auch qualitativen Datenerhebung wären demnach Daten über die experimentellen Fähigkeiten der SchülerInnen interessant, auf die in dieser Studie aus Gründen der Testökonomie sowie aufgrund der gängigen Struktur und Zielsetzung bestehender Experimentierkompetenz-Tests verzichtet wurde. So zielen entsprechende Tests primär auf kognitive Vorgänge während des Experimentierprozesses, die für diese Untersuchung irrelevant gewesen sind, darunter Variablenkontrollstrategien oder Fähigkeiten zur Hypothesenbildung.

6 Interpretation der Ergebnisse der Gesamtuntersuchung

Da sowohl die teilnehmenden Lehrkräfte aus Studie I als auch die in Studie II befragten SchülerInnen klassisches Labormaterial und alternatives Experimentiermaterial mit Blick auf die gleichen fachdidaktischen Anforderungen an gelungene Experimente für den Chemieunterricht beurteilten, können die Ergebnisse beider Studien abschließend gemeinsam vor dem theoretischen Hintergrund dieser Arbeit interpretiert werden. Auf diese Weise können die Ergebnisse der Schülerbefragung auch zur Validierung des Kategoriensystems aus der Lehrerbefragung beitragen (Clausen, 2002). Im Folgenden grau unterlegt ist demnach die jeweilige Anforderung an ein Experiment, der Text im Anschluss interpretiert die Ergebnisse beider Studien und damit beider befragten Perspektiven zu jener Anforderung. Sofern möglich, werden die Ergebnisse dabei von den konkret durchgeführten Experimenten abstrahiert, um allgemeingültigere Aussagen zu Vor- und Nachteilen beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischem Labormaterial generieren zu können.

Einfluss des Experimentiermaterials auf die *Rahmenbedingungen, den Zeitaufwand, die Arbeitssicherheit*

Als größten Vorteil des Einsatzes alternativer Experimentiermaterialien im Schülerexperiment stufen Lehrkräfte die Organisation des Experimentierprozesses im Unterricht selbst ein. Schließlich steht aufgrund der reduzierten Reaktionszeiten und der – von den SchülerInnen bestätigten – Einfachheit der Bedienung sowie Zügigkeit des Auf- und Abbaus mehr Zeit für die Dokumentation und Auswertung des Experiments zur Verfügung. Dennoch ist, trotz dieser deutlich benannten Vorteile, aus der Perspektive der Lehrkräfte eine im Allgemeinen nur geringe Notwendigkeit für die Etablierung kostengünstiger, alternativer Experimentiermaterialien in die reguläre Schulausstattung abzuleiten. Der theoretisch beschriebene Materialmangel schulischer Chemiesammlungen geht aus den hier geführten Interviews nicht als so akut hervor, als dass Lehrkräfte auf kostengünstiges, alternatives Experimentiermaterial angewiesen sind, um gängige Schüler- aber auch Demonstrationsexperimente durchführen zu können. Wenngleich sicher keine der befragten Lehrkräfte den Vorteil der Halbmikrotechnik und der Verwendung teilweise wiederverwendeter, umfunktionierter Alltagsmaterialien vor dem Hintergrund eines umweltfreundlicheren Chemieunterrichts abstreiten würde, nimmt auch dieser Aspekt in der Argumentation der Lehrkräfte für die Etablierung alternativer Experimentiermaterialien einen nur

geringen Stellenwert ein. Statt einer Notwendigkeit wird der Einsatz alternativer Experimentiermaterialien als eine *potentielle* Möglichkeit eingestuft, deren Anschaffung jedoch von organisatorischen Schwierigkeiten begleitet ist, die Lehrkräfte von der *breitflächigen* Etablierung alternativer Materialien im Chemieunterricht abhalten. Neben formalen Hürden bei der Anschaffung und Finanzierbarkeit nicht-regulärer Lehrmittel wie Materialien der Medizintechnik nennen auch diejenigen Lehrkräfte, die an der Zusammenstellung, dem Zusammenbau und dem Einsatz alternativer Materialien ein grundlegendes Interesse zeigen, einen chronischen Zeitmangel in ihrem Berufsalltag als Ursache dafür, dass privat zu sammelnde (umfunktionierte) Alltagsmaterialien, selbstgebastelte Low-Cost-Apparaturen, aber auch käuflich zu erwerbende, kosten- und wartungsintensive Low-Cost-Experimentiersets für konkrete Experimente keinen breiten Einzug in den regulären Chemieunterricht finden. Dem Experimentieren mit alternativen Materialien wird, im Allgemeinen, ein nicht zu leistender Zeitaufwand in der Unterrichtsvor- und -nachbereitung zugeschrieben. Dieser Aspekt des Zeitaufwands überwiegt den beschriebenen Vorteil der Zeiteinsparung im Unterricht selbst.

Mit Blick auf die zusätzlich von den Lehrkräften geäußerte Skepsis an der „RiSU-Konformität“ und Kritik an der Instabilität alternativer Experimentiermaterialien und stark improvisierter Versuchsaufbauten ist relevant, dass vor allem der Aspekt der Instabilität durch Studie II bestätigt werden konnte und damit einhergehende Schwierigkeiten beim sauberen Umgang mit Chemikalien und damit der Arbeitssicherheit beim Experimentieren identifiziert wurden. Diese Schwierigkeiten resultieren vor allem aus dem Einsatz von Kerzenbrennern, der Verwendung nicht passgenauer Materialien innerhalb einer Versuchsanlage, hier im Rahmen der Low-Cost-Destillations- und Elektrolyseapparatur, sowie dem Experimentieren mit leicht umzustößenden Ampullengläsern und Tablettenblister. Vor allem der Ersatz klassischer Chemikalien- und Reaktionsgefäße (z.B. Becher und Reagenzgläser) wird von Lehrkräften als weder notwendig noch sinnvoll eingestuft, auch weil diese für eine regulär ausgestattete Schulsammlung bereits hinreichend kostengünstig sind. *Nicht* in diese Kritik an der Stabilität, Sauberkeit und damit Arbeitssicherheit beim Experimentieren fließt der Einsatz einfacher, robuster Kunststoffspritzen im Rahmen von Schülerexperimenten ein, in denen Lehrkräfte das größte Potential für einen tatsächlichen *Ersatz* statt *Zusatz* zu klassischem Labormaterial sehen, darunter der Ersatz von Kolbenprobern, Büretten und Peleusbällen. Schwierigkeiten werden diesbezüglich in der Verwendung von Kanülen sowie dem potentiellen Spielcharakter der Spritzen und

Kanülen gesehen, den auch die SchülerInnen in Studie II praktisch wahrnehmen und selbstkritisch äußern.

Wird die Etablierung alternativer Experimentiermaterialien, oder der Medizin- oder Spritzentechnik im Speziellen, von Lehrkräften einer Schule angestrebt, werden notwendige Voraussetzungen beschrieben, auch um den kritisierten Vor- und Nachbereitungsaufwand möglichst gering zu halten. Zum einen wird eine Interessensgemeinschaft innerhalb des Fachkollegiums vorausgesetzt, für die die Authentizität des experimentellen Arbeitens nicht an den Einsatz klassischer Labormaterialien gebunden ist. Darüber hinaus ist zur nachhaltigen Etablierung alternativer Experimentiermaterialien ein klares Konzept notwendig, das den Besuch von Fortbildungsveranstaltungen durch eine Mehrheit der Fachschaftsmitglieder, die anschließend gemeinsam organisierte Anschaffung, Bereitstellung und Aufbewahrung der Materialien unter Vorgabe von festgelegtem Lagerplatz sowie konkrete Material- und Wartungsverantwortlichkeiten festlegt. Insbesondere bezüglich medizintechnischer Materialien ist außerdem ein regelmäßiger Einsatz sowie eine Schulung der SchülerInnen im Umgang mit Kanülen notwendig, um die Gefahr von Stichverletzungen sowie die in Studie II beschriebenen Angstgefühle der SchülerInnen in Bezug auf den Einsatz von Kanülen zu reduzieren. Eine entsprechende Regelmäßigkeit im Einsatz sowie zusätzliche, streng eingehaltene Experimentierregeln werden genauso hinsichtlich des Spielcharakters anderer Materialien des alternativen Materialpools als Grundvoraussetzung für den Einsatz der Materialien geäußert, unter anderem auch bezüglich des Kerzen- und des Mikrobrenners.

Zentrale Einflüsse des Experimentiermaterials auf die *Rahmenbedingungen*, den *Zeitaufwand* und die *Arbeitssicherheit* beim Experimentieren im Chemieunterricht

- Unter Lehrkräften ist kein akuter Bedarf an alternativen Experimentiermaterialien festzustellen. Eine Ausnahme stellen robuste, einfache Kunststoffspritzen für *Schülerexperimente* dar, unter anderem als Ersatz für Büretten, Kolbenprober und Peleusbälle. Insbesondere (umfunktionierten) Alltagsmaterialien wird jedoch oftmals ein überschrittener Grad an Improvisation zugeschrieben.
- Die Etablierung alternativer Experimentiermaterialien scheint abhängig zu sein von der individuellen Einstellung der unterrichtenden Chemielehrkräfte. Diese müssen „Basteltypen“ sein und machen die Authentizität des naturwissenschaftlichen Arbeitens nicht vom Einsatz klassischer Labormaterialien abhängig.
- Ein zu hoher Anschaffungs- und Wartungsaufwand verhindert die breite Etablierung insbesondere (umfunktionierter) Alltagsmaterialien sowie selbstgebauter Low-Cost-Apparaturen. Käuflich zu erwerbende, auch medizintechnisch

ausgestattete Experimentiersets werden für schulische Zwecke als zu einseitig, zu wartungs- und kostenintensiv und damit für die Unterrichtspraxis nicht praktikabel eingestuft.

- Im Unterricht selbst ermöglichen der zügigere Auf- und Abbau sowie die verringerte Chemikalienmenge im Rahmen von Schülerexperimenten in alternativer Materialvariante eine Zeiteinsparung.
- Die Instabilität vieler Einzelmaterialien und Versuchsaufbauten sowie ein Spielcharakter alltagsbekannter alternativer Materialien verringert die Arbeitssicherheit beim Experimentieren. Erhöht wird diese wiederum durch geringere Chemikalienmengen, den Verzicht auf Gasbrenner und die Robustheit von Kunststoffmaterialien.

Einfluss des Experimentiermaterials auf die wahrgenommene *Herausforderung* von SchülerInnen beim Experimentieren

Ein gelungenes Experiment zeichnet sich durch einen angemessenen Grad der Herausforderung für SchülerInnen aus. Die Ergebnisse beider Studien haben gezeigt, dass sich der von SchülerInnen wahrgenommene Grad der Herausforderung beim eigenständigen Experimentieren durch den Aspekt des Experimentiermaterials beeinflussen lässt. Unter Berücksichtigung beider Perspektiven – Lehrkräfte wie SchülerInnen – kann festgehalten werden, dass das Experimentieren mit klassischem Labormaterial für SchülerInnen herausfordernder ist als das Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien. In Bezug auf die theoretisch beschriebene Definition einer Herausforderung erfordert klassisches Labormaterial folglich eine stärkere gedankliche Auseinandersetzung der SchülerInnen beim Experimentieren als alternatives Experimentiermaterial. Dieser Einfluss erweist sich für 4 von 5 betrachteten Experimente als hochsignifikant. Da anhand der qualitativen Daten wiederum gezeigt werden konnte, dass die klassische Materialvariante *aller* fünf Experimente als herausfordernder wahrgenommen wird, wird an dieser Stelle letztlich von einem allgemeingeltenden Einfluss der Materialvariable auf die von SchülerInnen wahrgenommene Herausforderung beim Experimentieren ausgegangen. Materialeigenschaften, die diese insbesondere beeinflussen, sind, sowohl nach Aussagen der Lehrkräfte als auch der SchülerInnen, die Funktionalität der Materialien im Sinne einer komplexeren Bedienung klassischer Labormaterialien und eher intuitiven Bedienung vieler alternativer Experimentiermaterialien sowie die für klassisches Labormaterial höher ausfallende, beim Experimentieren gedanklich vorgenommene Folgenabschätzung aus

Gefahrenpotential, Materialwert und Robustheit der Materialien. Die Herausforderung beim Experimentieren steigt außerdem durch die Komplexität des Versuchsaufbaus, die im Rahmen von Experimenten mit klassischem Labormaterial deutlich höher ist, unter anderem durch den Einsatz von Glas- und Stativmaterial.

Da es aus fachdidaktischer Perspektive das Ziel ist, SchülerInnen in einer Experimentiersituation weder motorisch noch kognitiv zu unter- oder zu überfordern, legen die Ergebnisse nahe, auch die Materialauswahl und damit die handwerklich-apparative Ebene bei der Planung eines angemessen herausfordernden Schülerexperiments zu berücksichtigen. So formulieren sowohl Lehrkräfte als auch SchülerInnen, dass der wahrgenommene Grad der Herausforderung bereits bei der Sachbegegnung, das heißt beim Anblick der zu verwendenden Experimentiermaterialien und damit noch vor der eigentlichen Experimentiersituation beeinflusst werden kann. So wird im Kontext alternativer Experimentiermaterialien der Vorteil einer geringeren Hemmschwelle von SchülerInnen beim Umgang mit den Materialien beschrieben und diesen damit das Potential zugeschrieben, bei SchülerInnen ein gesteigertes Zutrauen in ihre eigene Leistungsfähigkeit und experimentellen Fähigkeiten wecken zu können. Den Interviewergebnissen beider Studien zufolge ist daher anzunehmen, dass alternative Materialien vor allem in experimentierschwächeren Klassen, bei SchülerInnen im Anfangsunterricht Chemie sowie bei SchülerInnen mit eher geringen Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren eine angemessene Wahl sein können, um den SchülerInnen einen Zugang zum Experimentieren zu ermöglichen, ohne diese zu überfordern. Über Erfolgserlebnisse in der dann folgenden Experimentiersituation könnte dann ein Kompetenzerleben ermöglicht und – auf längere Zeit – gesteigerte Selbstwirksamkeitserwartungen der SchülerInnen in Bezug auf das Experimentieren aufgebaut werden (Dorfman & Fortus, 2019). Da Studie II auch die von den Lehrkräften bereits formulierte Vermutung bestätigen konnte, dass einige SchülerInnen alternative Experimentvarianten als „zu banal“, heißt unterfordernd, wahrnehmen, wird angenommen, dass für experimentierstärkere SchülerInnen und für SchülerInnen mit hohen Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren hingegen eher der Einsatz klassischer Labormaterialien einen angemessenen kognitiven wie motorischen Grad der Herausforderung darstellt. Zwar konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht bestätigt werden, dass SchülerInnen mit geringeren Selbstwirksamkeitserwartungen signifikant häufiger alternatives Experimentiermaterial präferieren, dennoch wird die Annahme an dieser Stelle nicht verworfen. Zum einen findet sich eine entsprechende Argumentation sehr

häufig in den Interviews beider Studien, zum anderen müssen die hier generierten Ergebnisse zu Schülerpräferenzen vor dem Hintergrund des in dieser Untersuchung eingesetzten Erhebungsinstruments vorsichtig interpretiert werden (s. Abschnitt 5.6.1).

Zentrale Einflüsse des Experimentiermaterials auf den *Grad der Herausforderung* beim Experimentieren im Chemieunterricht

- Der Grad der Herausforderung wird insbesondere bestimmt durch die Funktionalität der Einzelmaterialien, die Folgenabschätzung aus Gefahrenpotential, Materialwert und Robustheit der Materialien sowie den Einsatz von Glas- und Stativmaterial als Indikator für eine gesteigerte Komplexität eines Versuchsaufbaus.
- Das Experimentieren mit klassischem Labormaterial verlangt von SchülerInnen eine stärkere kognitive Auseinandersetzung beim Experimentieren und wird damit als herausfordernder wahrgenommen als das Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial.
- Aufgrund der als geringer wahrgenommenen Herausforderung wird angenommen, dass der Einsatz alternativer Experimentiermaterialien eventuelle Hemmschwellen von experimentierängstlichen SchülerInnen, von SchülerInnen mit geringen Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren und von SchülerInnen im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht senkt.

Einfluss des Experimentiermaterials auf die *Durchschaubarkeit* des Gesamtversuchsaufbaus und einzelner Bestandteile

Da die Durchschaubarkeit nicht durch ein quantitatives Messinstrument erhoben wurde, resultiert das Fazit diesbezüglich ausschließlich aus Ergebnissen qualitativer Datenerhebungen; die hier generierten Ergebnisse beziehen sich außerdem vor allem auf den Kontext von Schülerexperimenten. Sowohl Lehrkräfte als auch SchülerInnen halten dabei einen Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit der Bedienung von Einzelmaterialien, die Durchschaubarkeit von Gesamtversuchsaufbauten und eine Verlagerung des kognitiven Fokus beim Experimentieren fest.

Einen Vorteil alternativer Experimentiermaterialien sehen beide befragten Perspektiven darin, dass die oft intuitive Bedienung alltagsbekannter Materialien sowie deren alltagsbekannte Benennung eine Fokussierung auf das Experiment verstärkt statt auf die tendenziell komplexere Bedienung klassischer, in ihrer Benennung oft unbekannter Labormaterialien. Dieses Argument greift nach Erfahrungen der SchülerInnen jedoch nur dann, wenn die alternativen Materialien und Versuchsaufbauten stabil auf dem

Experimentiertisch stehen und nicht manuell gehalten oder zusätzlich stabilisiert werden müssen. Andernfalls lenkt fehlendes Stativmaterial sowie die insgesamt geringe Größe der alternativen Materialien und Versuchsaufbauten den kognitiven Fokus der SchülerInnen weg vom Experiment auf die Stabilisierung der Materialien und/ oder der Versuchsausrüstung. Sofern alternative Experimentiermaterialien und Versuchsaufbauten also selbstständig festgehalten werden müssen, instabil sind oder auch nur als instabil wahrgenommen werden, werden die fachdidaktisch theoretisch geltenden Vorteile der Materialreduktion und Einfachheit von Versuchsaufbauten durch Verzicht auf Stativmaterial (z.B. Schmidkunz, 1983) sowie der dadurch verringerten, notwendigen kognitiven Kapazität zur Durchschaubarkeit eines Versuchsaufbaus (Bader & Lühken, 2018) überwogen von dem experimentellen Vorteil der Stabilität von Versuchsaufbauten mit klassischem Labormaterial.

Einen weiteren Vorteil klassischer Labormaterialien sehen sowohl Lehrkräfte als auch SchülerInnen in der Durchschaubarkeit von Gesamtversuchsaufbauten. Wenngleich Lehrkräfte das Argument der geringeren Material*dichte* klassischer Versuchsaufbauten primär im Kontext von Demonstrationsexperimenten anführen, thematisieren die SchülerInnen diesen Vorteil auch im Rahmen der von ihnen durchgeführten Schülerexperimente. Begründet wird die bessere Durchschaubarkeit klassischer Versuchsaufbauten mit den größeren Einzelmaterialien, die, teilweise über Schliffe und passgenaue Anschlüsse, zu einem insgesamt größeren Versuchsaufbau zusammengesetzt werden und in der die für das Experiment relevanten Reaktionsschritte und chemischen Vorgänge stärker voneinander getrennt stattfinden und beobachtet werden können. In Kombination mit der größeren Chemikalienmenge und der damit einhergehenden längeren Effektdauer wird Versuchsaufbauten aus klassischem Labormaterial zum Durchschauen von Reaktionsverläufen und des Versuchsaufbaus als solchen eine bessere Eignung zugesprochen. Diese Schlussfolgerung wird dadurch gestützt, dass der an anderer Stelle von SchülerInnen formulierte Vorteil der Übersichtlichkeit alternativer Versuchsaufbauten (*‘alles auf einem Raum’*) nur im Kontext derjenigen Experimente genannt wird, in denen „lediglich“ ein Farbwechsel innerhalb eines Ampullenglases oder einer Blistervertiefung (Titration E V, pH-Wert-Bestimmung E III), nicht aber Reaktionsverläufe innerhalb eines komplexeren Versuchsaufbaus beobachtet werden mussten (Destillation E I, Elektrolyse E II, Gasentwicklung und -nachweis E IV).

Zentrale Einflüsse des Experimentiermaterials auf die *Durchschaubarkeit* eines Gesamtversuchsaufbaus und einzelner Bestandteile

- Die Durchschaubarkeit der Bedienung vieler Einzelmaterialien des alternativen Materialpools wird aufgrund ihrer oft alltagsbekannten Funktionalität als höher, da intuitiver eingestuft.
- Die Durchschaubarkeit von Reaktionsverläufen innerhalb einer Versuchsapparatur wird im Kontext klassischer Labormaterialien als höher eingestuft, da die Materialdichte insgesamt geringer ist und aufgrund der höheren Chemikalienmenge, der davon abhängigen längeren Effektdauer, der größeren Einzelmaterialien, des größeren Gesamtversuchsaufbaus und einem damit einhergehenden längeren Reaktionsweg mehr Zeit für die kognitive Auseinandersetzung mit dem Versuchsaufbau und den chemischen Vorgängen zur Verfügung steht.
- Die Stabilität von Einzelmaterialien und Versuchsaufbauten nimmt maßgeblich Einfluss auf den kognitiven Fokus von SchülerInnen beim Experimentieren. Nur wenn diese sich nicht auf die manuelle Halterung oder Stabilisierung alternativer Materialien und/ oder Versuchsaufbauten konzentrieren müssen, kann der Fokus auf die Vorgänge während des Experiments und den Versuchsaufbau als solchen gelegt werden.

Einfluss des Experimentiermaterials auf die *Gelungenheit* von Experimenten

Die Gelungenheit eines Experiments wurde in dieser Untersuchung vor allem über die Beobachtbarkeit definiert, wobei diese als gelungen galt, wenn die Effekte eines Experiments vollständig, präzise, detailliert sowie unmittelbar beobachtet werden konnten (s. Abschnitt 2.4.2.2). In Studie II wurde die Beobachtbarkeit von Schülerexperimenten in klassischer und alternativer Materialvariante quantitativ untersucht; dabei konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Beobachtbarkeit, damit Gelungenheit, und dem Experimentiermaterial festgestellt werden.

Innerhalb der Schülerinterviews und den offenen Fragen wird dem Einfluss des Materials auf die Beobachtbarkeit indes ein hoher Stellenwert zugesprochen, sodass in Erwägung gezogen werden muss, dass die verwendete Messskala Unterschiede in der Beobachtbarkeit nicht detailliert genug erhoben hat. So zeigen die Ergebnisse der qualitativen Schülererhebung, dass sich mit alternativen Experimentvarianten zwar alle erforderlichen Effekte erzeugen und beobachten lassen, die Effekte sich im Rahmen klassischer Experimentvarianten jedoch qualitativ *besser* beobachten lassen: (Farb)effekte werden

intensiver wahrgenommen, Einzeleffekte können aufgrund der längeren Effektdauer, aufgrund von größeren Einzelmaterialien und stärker voneinander getrennten Reaktionsräumen und/ oder aufgrund eines weniger sensiblen Mengenverhältnisses (z.B. zwischen Probe- und Indikatorlösungen) länger, detaillierter und einprägsamer beobachtet werden.

Genannte Vorteile alternativer Experimentiermaterialien bezüglich der Gelungenheit von Experimenten beziehen sich vor allem auf die Phase des Protokollierens (Wiederholung der Effekte, mehr Platz für die Dokumentation am Arbeitsplatz durch kleinere Versuchsaufbauten, mehr Zeit für die Dokumentation durch geringeren Aufbauaufwand) sowie die kleinere Gruppengröße beim Experimentieren, die in Form eines „näheren Herantretens“ an das Experiment bessere Beobachtungsmöglichkeiten für alle SchülerInnen einer Gruppe ermöglicht. Letzteres Argument ist jedoch primär ein Vorteil des Untersuchungsdesigns als ein Vorteil alternativer Experimentiermaterialien als solcher, wengleich die geringeren Kosten der Materialien im Umkehrschluss eine vermehrte Anschaffung ermöglichen und damit kleinere Gruppengrößen zum Normalfall für den experimentellen Chemieunterricht werden könnten.

Die Ergebnisqualität quantitativer Schülerexperimente (E V) wird hier nicht beurteilt, da der Einfluss der Titrierfähigkeiten der SchülerInnen oder deren Fähigkeiten beim Ablesen einer Skala als zu hoch eingestuft wird, um potentielle Unterschiede in der Ergebnisqualität tatsächlich auf das Experimentiermaterial zurückführen zu können.

| |
|---|
| Zentrale Einflüsse des Experimentiermaterials auf die <i>Gelungenheit</i> eines Experiments |
|---|

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – Quantitativ konnte kein Einfluss des Experimentiermaterials auf die Beobachtbarkeit als zentraler Aspekt der Gelungenheit eines qualitativen Schülerexperiments festgestellt werden. – Die Ergebnisse der qualitativen Erhebungen lassen darauf schließen, dass klassische Labormaterialien und Versuchsaufbauten in klassischer Materialvariante intensivere (Farb-) Effekte erzeugen sowie eine längere, detailliertere und einprägsamere Beobachtung aller Einzeleffekte ermöglichen, da größere Chemikalienmengen verwendet werden, die Einzelmaterialien und damit Versuchsaufbauten größer sind und chemische Vorgänge stärker separiert voneinander stattfinden. |
|--|

Einfluss des Experimentiermaterials auf
das *Autonomieerleben* von SchülerInnen beim Experimentieren

Den Ergebnissen der quantitativen Erhebung zufolge ermöglichen alternative Experimentiermaterialien ein stärkeres Erleben von Autonomie beim Experimentieren als klassische Labormaterialien. Da in Bezug auf den Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung innerhalb dieser Untersuchung sehr kleinschrittige Vorgaben gemacht wurden und demnach keinerlei Möglichkeiten für die SchülerInnen bestanden, eigene Experimentierentscheidungen zu treffen, wird der Grund für das stärkere Autonomieerleben im Rahmen alternativer Experimentvarianten vor allem in einem stärkeren Gefühl von Selbstständigkeit vermutet, ermöglicht durch die bereits mehrfach beschriebene, oftmals intuitive Bedienung vieler alternativer Experimentiermaterialien sowie Einfachheit des Aufbaus alternativer Versuchsaufbauten. Insbesondere aufgrund des in der Regel geringeren Gefahrenpotentials sowie Materialwerts bestätigen Lehrkräfte außerdem die in Abschnitt 2.2.1 dargelegten Argumente der Entwickler von Low-Cost-Experimenten, dass diese zu einer geringeren Hemmschwelle und gesteigerten Kreativität von SchülerInnen beim Experimentieren beitragen und eine Möglichkeit darstellen, zum Beispiel in Form von Arbeitsaufträgen zur eigenständigen Entwicklung von Versuchsaufbauten, die Offenheit von Experimentierphasen im Unterricht zu erhöhen. Aufgrund der hier identifizierten, schwer sicherzustellenden Stabilität, Sauberkeit und damit Arbeitssicherheit beim Experimentieren mit vielen alternativen Materialien ist die Wahl der dabei eingesetzten Chemikalien und Chemikalienmengen jedoch umso stärker zu berücksichtigen.

Zentrale Einflüsse des Experimentiermaterials auf das *Autonomieerleben* von SchülerInnen beim Experimentieren im Chemieunterricht

- Das Autonomieerleben von SchülerInnen ist beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien höher als beim Experimentieren mit klassischen Labormaterialien.
- Das stärkere Autonomieerleben beim Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial wird darauf zurückgeführt, dass sie den SchülerInnen aufgrund ihrer oft intuitiven Bedienung, ihrem geringeren Gefahrenpotential, ihres einfacheren Versuchsaufbaus sowie ihres in der Regel geringeren Materialwerts ein ungehemmteres, kreativeres Experimentieren ermöglichen. Außerdem sind die SchülerInnen beim Experimentieren folglich weniger auf die Hilfe Außenstehender angewiesen, was zu einem stärkeren Erleben von Selbstständigkeit in der Experimentiersituation führt.

Einfluss des Experimentiermaterials auf
die *Motivation* von SchülerInnen beim Experimentieren

Entsprechend der theoretischen Herleitung wird intrinsische Motivation dann generiert, wenn SchülerInnen sich in einer Experimentiersituation als autonom und kompetent erleben. Da stets *beide* (hier betrachteten) Grundbedürfnisse erfüllt sein müssen, um Motivation generieren zu können, muss, neben dem im vorherigen Abschnitt zusammengefassten Autonomieerleben, folglich auch das Kompetenzerleben der SchülerInnen berücksichtigt werden, um den Zusammenhang zwischen dem Experimentiermaterial und der Motivation abzubilden. Dabei konnte die quantitative Messung in Studie II keinen Einfluss des Experimentiermaterials auf das Kompetenzerleben von SchülerInnen beim Experimentieren nachweisen; hier operationalisiert über die Zufriedenheit mit der eigenen Leistung und dem eigenen experimentellen Geschick. Dieses Ergebnis spiegelt sich in den Ergebnissen der Schülerinterviews insofern wider, als dass sich viele SchülerInnen als geschickter im als „grobmotorischer“ beschriebenen Hantieren mit klassischem Labormaterial einstufen, wohingegen viele andere SchülerInnen ihr Geschick beim als „feinmotorischer“ wahrgenommenen Arbeiten mit alternativen Experimentiermaterialien höher einstufen. Die selbst eingeschätzten motorischen Fähigkeiten und Vorlieben der SchülerInnen verteilen sich somit auf beide Materialpools, wenngleich die Ergebnisse der offenen Fragen darauf hindeuten, dass ein größerer Teil der SchülerInnen das Hantieren mit klassischen Materialien bevorzugt. Diese Beobachtung legt insgesamt nahe, dass in zukünftigen Studien zur Eignung verschiedener Experimentiermaterialien verstärkt Schülerfähigkeiten in die Untersuchung einbezogen werden sollten, um Interaktionseffekte zwischen dem Experimentiermaterial und jenen Schülerfähigkeiten im Hinblick auf die jeweils untersuchte Variable besser berücksichtigen zu können.

In Anbetracht dieser Ergebnisse muss festgehalten werden, dass das Experimentiermaterial die Ausbildung intrinsischer Motivation im Sinne der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (2000) nicht beeinflusst, da zwar ein Einfluss des Experimentiermaterials auf das Autonomie-, nicht aber auf das Kompetenzerleben von SchülerInnen in der konkret betrachteten Experimentiersituation bestätigt werden konnte.

Zentrale Einflüsse des Experimentiermaterials auf die *Motivation* von SchülerInnen beim Experimentieren im Chemieunterricht

- Nur das Autonomieerleben von SchülerInnen kann durch das Experimentiermaterial beeinflusst werden, nicht aber ihr Kompetenzerleben in der konkreten Experimentiersituation.
- Damit sich der Effekt des stärkeren Autonomieerlebens von SchülerInnen beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien positiv auf die Genese intrinsischer Motivation auswirken kann, muss ein Kompetenzerleben von SchülerInnen in der jeweiligen Situation bereits vorhanden sein.

Dass sowohl das Erleben von Autonomie als auch Kompetenz zusätzlich „hold-Faktoren“ für die Entwicklung von Interesse bei SchülerInnen am Experimentieren sind, wurde in der Theorie beschrieben (Krapp, 2002). Auf weitere Einflüsse des Experimentiermaterials auf das Interesse von SchülerInnen wird im Folgenden näher eingegangen.

Einfluss des Experimentiermaterials auf das *Interesse* von SchülerInnen beim Experimentieren

Sowohl die Lehrkräfte aus Studie I als auch die SchülerInnen der hier befragten Stichprobe zeigen sich einige darin, dass überhaupt eigenständig zu Experimentieren – unabhängig von den eingesetzten Materialien – für die Freude und das Interesse von SchülerInnen am Chemieunterricht die höchste Priorität hat. Nichtsdestotrotz können durch die Ergebnisse dieser Untersuchung Vor- und Nachteile alternativer wie klassischer Experimentiermaterialien hinsichtlich ihres Einflusses auf das Interesse von SchülerInnen in einer Experimentiersituation identifiziert werden.

So werden klassische Labormaterialien von SchülerInnen experimentübergreifend als für sie ansprechender und interessanter beschrieben und mit einem stärkeren Fach- und Industriebezug assoziiert als alternatives Experimentiermaterial. In diesen Erwartungshaltungen der SchülerInnen an das Fach Chemie sowie die Art und Weise des experimentellen Arbeitens im Chemieunterricht zeigt sich außerdem, dass die in Studie I beschriebene „klassische Denke“ von Chemielehrkräften ebenso in der Vorstellung von SchülerInnen verankert ist. Im Zuge dessen nennen sowohl Lehrkräfte als auch SchülerInnen eine gewisse Besonderheit von Fachmaterialien, ausgelöst durch die Aspekte *Professionalität* und *Authentizität* als ihrem Urteil nach interessefördernde Eigenschaften von

Experimentiermaterialien, die bei klassischen Labormaterialien stärker ausgeprägt sind als bei alternativen Experimentiermaterialien. Damit bestätigen die Ergebnisse dieser Untersuchung die Merkmale *Realitätsnähe* und *Authentizität* als zwei bereits identifizierte Merkmale interessiefördernder Lern- und Experimentierumgebungen (Engeln, 2004; Prenzel, 1995) und übertragen sie auf das konkrete Experimentiermaterial. So ist anzumerken, dass jene Merkmale einer Experimentierumgebung bislang vor allem durch lebensnahe Kontexte und Problemstellungen umgesetzt wurden, wohingegen Authentizität in der hier durchgeführten Untersuchung nicht den Bezug zur Lebenswelt der SchülerInnen, sondern einen Bezug zum Arbeitsumfeld von ChemikerInnen in Forschung und Industrie beschreibt. Es ist folglich anzunehmen, dass das im Chemieunterricht eingesetzte Experimentiermaterial die Realitätsnähe und Authentizität und damit das Interesse an einer Experimentierumgebung beeinflusst. Eine quantitative Bestätigung dieser Annahme kann die hier durchgeführte Untersuchung nicht leisten; es sei jedoch auf Ergebnisse von Schüttler et al. (2021) verwiesen (s. Abschnitt 2.2.2), die bei einem Vergleich von „High-End“-Laborgeräten in Physik-Schülerlaboren und schulischem Experimentiermaterial eine stärkere Authentizitätswahrnehmung ersterer identifizieren konnten. Ebenso übertragen lassen sich Ergebnisse von Behrendt (1990) und van Vorst et al. (2018), die mit Blick auf Lerninhalte feststellen konnten, dass SchülerInnen Inhalte mit alltäglichem Kontext mit weniger Interesse bearbeiten als Kontexte, die sich durch das Merkmal *Besonderheit* auszeichnen. Durch weitere Ergebnisse wie denen von Behrendt (1991), nach denen SchülerInnen im Physikunterricht ein stärkeres Interesse am Experimentieren mit Labormaterial als mit Alltagsmaterial haben (s. Abschnitt 2.2.2), ist außerdem anzunehmen, dass eine entsprechende Wahrnehmung von Fachmaterialien im Gegensatz zu Materialien aus dem Alltagskontext über die naturwissenschaftlichen Fächer hinweg gilt. Im Zuge dessen sei auch auf den hier festgestellten Zusammenhang hingewiesen, dass SchülerInnen mit hohem Interesse an Chemie und am Experimentieren signifikant häufiger klassisches Labormaterial als präferiertes Experimentiermaterial wählen. Dass speziell dieses Ergebnis jedoch weitere Bestätigung fordert, wurde in Abschnitt 5.6.1 erläutert.

Vor allem die Ergebnisse zu Hypothese 6.1 und 6.2 zeigen jedoch, dass bezüglich eines Einflusses des Experimentiermaterials auf das wahrgenommene Interesse von SchülerInnen an einer Experimentiersituation im Schülerexperiment zwischen (umfunktionierten) Alltagsmaterialien und Materialien der Medizin- und speziell Spritzentechnik differenziert werden muss. So ist das von SchülerInnen wahrgenommene Interesse/ Vergnügen

an einer Experimentiersituation mit (umfunktionierten) Alltagsmaterialien signifikant geringer als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial, wohingegen das Interesse/ Vergnügen an einer Experimentiersituation mit Materialien der Spritzentechnik signifikant höher ist als in der klassischen Materialvariante. Auch im Rahmen der Schülerinterviews wurden Kategorien zum stärkeren Authentizitäts- und Professionalitätsgefühl beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial nur bei den Experimenten kodiert, in deren alternativer Materialvariante (umfunktionierte) Alltagsmaterialien verwendet wurden. Folglich ist anzunehmen, dass die Materialmerkmale Besonderheit, Professionalität und Authentizität im Sinne einer stärkeren Realitätsnähe bei (umfunktionierten) Alltagsmaterialien als geringer ausgeprägt wahrgenommen werden als bei Materialien der Spritzentechnik. Dies deckt sich mit Aussagen der Lehrkräfte, von denen ein Großteil erst beim Einsatz (umfunktionierter) Alltagsmaterialien einen „akzeptablen Grad der Improvisation“ überschritten sieht. Auch darin liegen Parallelen zu Beobachtungen aus dem Physikunterricht, nach denen auch Freihandversuche mit Alltagsmaterialien von Physiklehrkräften oftmals als wenig akzeptierter Notbehelf mit einem Mangel an Ernsthaftigkeit und dem Problem des Übergangs zur Physik eingestuft werden (Behrendt & Schlichting, 2000). Ergänzt durch die intensiveren Effekte und komplexeren Versuchsaufbauten kann nach der hier durchgeführten Untersuchung davon ausgegangen werden, dass die Authentizität als catch-Faktor (Krapp, 2002) klassischer Labormaterialien eher das Interesse der SchülerInnen an einer Experimentiersituation wecken kann als (umfunktioniertes) Alltagsmaterial, das als weniger authentisch wahrgenommen wird. Engeln (2004) zieht in ihrer Studie zur Authentizität von Schülerlaboren folgendes Fazit: „Die Schülerinnen und Schüler sollen „the real thing“ und nicht eine didaktisch reduzierte Wirklichkeit erleben“ (S. 39). Dieses Fazit soll hier auf die Authentizität von Experimentiermaterialien übertragen und der Ergebnisse entsprechend erweitert werden: „Die Schülerinnen und Schüler sollen (*und wollen*) „the real thing“ und nicht eine didaktisch reduzierte Wirklichkeit erleben“ (ebd., S. 39).

Über den Aspekt der Authentizitätswahrnehmung hinaus konnte diese Untersuchung zeigen, dass das Experimentiermaterial zusätzlich Einfluss nimmt auf die Wahrnehmung von *academic emotions* zur Generierung von Interesse (s. Abschnitt 2.4.2.2). Klassische Labormaterialien und alternative Experimentiermaterialien lösen dabei auf emotionaler Ebene ein unterschiedliches Empfinden der SchülerInnen beim Experimentieren aus. So wird beim Umgang mit klassischem Labormaterial ein positives „Experten-Gefühl“ und,

sowohl nach Aussagen der Lehrkräfte über SchülerInnen als auch nach Aussagen der SchülerInnen selbst, ein stärkeres Gefühl von persönlichem Stolz und Verantwortung empfunden. Im Gegensatz dazu sehen Lehrkräfte durch den Einsatz bewusst gefahrenreduzierter, in Aufbau und Durchführung vereinfachter alternativer Materialien und Versuchsaufbauten die Gefahr einer von SchülerInnen empfundenen „Herabstufung“ ihrer eigenen Fähigkeiten. Ein solches Gefühl beschreiben die SchülerInnen in den Interviews jedoch nicht. Aus pädagogischer Perspektive interessant ist diesbezüglich das Ergebnis einer Vorstudie, in der SchülerInnen des Haupt- und Realschulbereichs eben jenes Gefühl der Herabstufung beim Einsatz alternativer Experimentiermaterialien indes sehr deutlich formulieren (Bögge & Lühken, 2020). An dieser Stelle bleibt die Frage offen, ob die Schülerwahrnehmung zum Einsatz alternativer Experimentiermaterialien schulformabhängig ist und eine eventuelle Abhängigkeit aufgrund der ungleichen Verteilung der in Studie II teilnehmenden Klassen auf verschiedene Schulformen hier nicht herausgearbeitet werden konnte. Eine Studie von Behrendt (1991) konnte beispielsweise einen Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Alltags- oder Labormaterialien im Physikunterricht und dem Interesse von SchülerInnen unterschiedlicher Schulformen an den Materialien feststellen.

Bei allen positiven Emotionen, die durch den Einsatz klassischer Labormaterialien beim Experimentieren ausgelöst werden, sei an dieser Stelle auf das Ergebnis von Hypothese 4 verwiesen, nach dem SchülerInnen eine signifikant stärkere Anspannung/ einen signifikant stärkeren Druck beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial wahrnehmen als beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien. Vor dem Hintergrund des Interesses der SchülerInnen ist relevant, dass sich Gefühle wie Anspannung, Druck bis hin zu Angst negativ auf das Interesse auswirken können (Pekrun et al., 2002). Diese Emotionen durch den Einsatz alternativer Experimentiermaterialien zu reduzieren, kann, nach Einschätzung der Lehrkräfte, vor allem für experimentierschwächere beziehungsweise -ängstliche SchülerInnen eine Möglichkeit sein, einen Zugang zum Experimentieren zu finden und SchülerInnen schrittweise an das Experimentieren mit klassischem Labormaterial heranzuführen. Ein Zusammenhang zwischen den Selbstwirksamkeitserwartungen der SchülerInnen beim Experimentieren und einer Präferenz für klassisches oder alternatives Experimentiermaterial konnte mit den Methoden der hier durchgeführten Untersuchung quantitativ jedoch nicht bestätigt werden.

Zentrale Einflüsse des Experimentiermaterials auf das *Interesse* von SchülerInnen beim Experimentieren im Chemieunterricht

- Klassisches Labormaterial wird im Vergleich zu alternativem Experimentiermaterial als authentischer im Sinne einer Nähe zum Arbeitsumfeld von ChemikerInnen wahrgenommen (*catch-Faktor* des Interesses).
- Klassisches Labormaterial vermittelt den SchülerInnen ein Gefühl von Professionalität, Stolz, Besonderheit und ein Verantwortungsgefühl beim Experimentieren (*interessefördernde academic emotions*), gleichwohl aber auch ein Gefühl stärkerer Anspannung/ höheren Drucks bis Ängstlichkeit beim Experimentieren (je nach Ausprägung, potentiell negative Auswirkungen auf die Genese von Interesse).
- SchülerInnen mit einem hohen Interesse an Chemie und am Experimentieren präferieren signifikant häufiger klassisches Labormaterial. Ein Zusammenhang zwischen den Selbstwirksamkeitserwartungen der SchülerInnen beim Experimentieren und einer Präferenz für klassisches oder alternatives Experimentiermaterial konnte nicht festgestellt werden.
- Alternative Experimentiermaterialien und Versuchsaufbauten werden teilweise als improvisiert, banal und „behelfsmäßig“ wahrgenommen und entsprechen nicht der Erwartungshaltung vieler Lehrkräfte und SchülerInnen an den experimentellen Chemieunterricht. Dies gilt für (umfunktionierte) Alltagsmaterialien stärker als für Materialien der Medizintechnik und Sprizentechnik im Speziellen.
- Das wahrgenommene Interesse/ Vergnügen an einem Experiment mit (umfunktionierten) Alltagsmaterialien ist signifikant geringer als an einem Experiment in klassischer Materialvariante. Das wahrgenommene Interesse/ Vergnügen an einem Experiment mit der Sprizentechnik ist hingegen signifikant höher als an einem Experiment in klassischer Materialvariante.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Dissertation wurde der Einsatz klassischer Labormaterialien und alternativer Experimentiermaterialien vor dem Hintergrund fachdidaktischer Anforderungen an gelungene Experimente im Chemieunterricht untersucht. Dazu wurden zwei Studien durchgeführt, die im Folgenden sowohl in ihrer Durchführung (Abschnitt 7.1) als auch ihren Kernergebnissen zusammengefasst werden (Abschnitt 7.2). Aus den Ergebnissen beider Studien werden anschließend theoretische und praktische Implikationen für die fachdidaktische Forschung sowie den Chemieunterricht abgeleitet (Abschnitt 7.3) und ein Ausblick für künftige Untersuchungen gegeben (Abschnitt 7.4).

7.1 Zusammenfassung des Vorgehens

Ausgangslage der Untersuchung bildet der Umstand, dass aus der Praxis des experimentellen Chemieunterrichts vielfach organisatorische Schwierigkeiten bei der Umsetzung von insbesondere Schülerexperimenten identifiziert wurden. Demnach führt primär ein Mangel an Arbeitsmaterialien sowie an Zeit in der Unterrichtsvor- und Nachbereitung sowie im Unterricht selbst zu einem reduzierten Einsatz bis hin zum gänzlichen Ausbleiben von Schülerexperimenten im Unterrichtsalltag. Auf diese Problematik reagiert die chemiedidaktische Praxis unter anderem mit der Entwicklung von zunehmend mehr sogenannter Low-Cost-Experimentiermaterialien und -Versuchsanleitungen, die als zeiteffizientere, umweltfreundlichere und gleichzeitig kostengünstigere Alternative zu Versuchsanleitungen unter Einsatz klassischer Labormaterialien eingesetzt werden können. Das Spektrum von als *alternativ* oder *low-cost* bezeichneten Materialien ist sehr breit, letztlich verfolgen sie jedoch alle das Ziel einer möglichst großen Kosten- und Zeiteffizienz beim Experimentieren, um die Häufigkeit von Schülerexperimenten im Chemieunterricht zu erhöhen. Zum Zwecke dieser Arbeit wurde das breite Spektrum alternativer Experimentiermaterialien zunächst auf diejenigen Materialien außerhalb des gängigen Laborbedarfs eingegrenzt, die zum einen, auch wenn sie ursprünglich nicht für diesen Zweck entwickelt wurden, geeignet sind, bestimmte, für das Experimentieren benötigte Funktionalitäten abzudecken und zum anderen für einen deutlich geringeren Preis bezogen werden können als klassische Labormaterialien, die denselben oder einen ähnlichen Zweck erfüllen. Dabei fokussiert diese Untersuchung sowohl Alltagsmaterialien wie

Teelichter oder Blockbatterien, umfunktionierte Alltagsmaterialien wie Blister oder Aggraffen als auch Materialien der Medizintechnik, darunter vor allem Kunststoffspritzen, Kanülen und Ampullengläser.

Eine Literaturrecherche konnte zeigen, dass der Einsatz solch alternativer Experimentiermaterialien bislang primär in solchen Ländern empirisch begleitet wurde, in denen die Materialien nicht als Alternative zu klassischem Labormaterial eingesetzt werden, sondern in denen sie oftmals die einzige Möglichkeit darstellen, überhaupt Schülerexperimente im Unterricht durchführen zu können (z.B. Ghana, Tansania). Da die in den entsprechenden Studien befragten SchülerInnen somit nicht vor der Wahl zwischen klassischem Labormaterial und alternativem Material, sondern vor der Wahl standen selbstständig zu Experimentieren oder in der Regel Frontalunterricht zu erleben, konnten die Untersuchungsergebnisse nicht ohne weiteres auch für den Chemieunterricht hiesiger Schulen angenommen werden, in dem SchülerInnen das eigenständige Experimentieren mit klassischem Labormaterial gewohnt sind. Für diese stellt sich vielmehr die Frage nach fachdidaktischen Vor- und Nachteilen, die mit dem Einsatz alternativer Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischer Labormaterialien einhergehen. Dass der Einsatz unterschiedlicher Experimentiermaterialien aus fachdidaktischer Perspektive empirisch begleitet werden sollte, hat ein Blick in die Literatur gezeigt. So konnte das Experimentiermaterial in fachspezifischen Modellen zur Unterrichtsqualität eindeutig als relevantes Merkmal eben jener identifiziert werden. Studien, die den Einfluss des Experimentiermaterials auf die fachdidaktische Qualität von Experimenten im Chemieunterricht untersuchen, existieren bislang nur wenige. Der Fokus dieser Arbeit lag folglich darin, den Einfluss alternativer Experimentiermaterialien beziehungsweise ihres jeweils klassischen Pendant auf die fachdidaktische Qualität von Experimenten zu untersuchen. Als theoretischer Hintergrund und zur Konzeption der verwendeten Erhebungsinstrumente dienten somit fachdidaktische Anforderungen an ein gelungenes Experiment im Chemieunterricht, die nach einer entsprechenden Literaturrecherche in organisatorische, experimentelle und affektive Anforderungen unterteilt wurden. Der so erstellte Gesamtkatalog an Anforderungen wurde durch die Methode der Expervalidierung unter Chemiedidaktik-ExpertInnen auf diejenigen Anforderungen reduziert, zu denen ein Zusammenhang zum Experimentiermaterial vermutet werden konnte. Durch diese Vorbereitung wurden die für die Untersuchung relevanten Anforderungen identifiziert, auf denen folgende Ziele der Gesamtuntersuchung aufbauen:

- Die Identifikation von Materialeigenschaften, in denen sich klassische und alternative Experimentiermaterialien voneinander unterscheiden und von denen ein Einfluss auf fachdidaktische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht ausgeht.
- Eine Beschreibung des Einflusses der identifizierten Materialeigenschaften auf fachdidaktische Anforderungen an Experimente aus der Perspektive von Lehrkräften (Studie I) und der Perspektive von SchülerInnen (Studie II).

Durchgeführt wurden anschließend zwei aufeinander aufbauende Studien, die durch ein Mixed-Method-Design miteinander verknüpft wurden. Zunächst wurde eine qualitative Interviewstudie mit $N = 13$ Chemielehrkräften durchgeführt. Die Studie fokussierte praktische Erfahrungen der Lehrkräfte beim Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im Unterricht sowie deren Vor- und Nachteile gegenüber klassischen Labormaterialien. Das Interviewmaterial wurde in einem ersten Schritt genutzt, um zwölf Materialeigenschaften zu identifizieren, in deren Ausprägung sich alternative und klassische Experimentiermaterialien voneinander unterscheiden und von denen die Lehrkräfte einen Einfluss auf fachdidaktische Anforderungen an ein gelungenes Experiment im Chemieunterricht erwarten. Diese Liste an Materialeigenschaften wurde durch ein Gespräch unter Experten validiert, bevor das durch die Transkription der Interviews entstandene Textmaterial weiter analysiert wurde. Schließlich erlaubte diese Liste an Materialeigenschaften anschließend eine systematische Auswertung und Darstellung der Interviewergebnisse, indem ausgehend von einer Materialeigenschaft jeweils der Einfluss des entsprechenden Experimentiermaterials (alternativ bzw. klassisch) auf eine der fachdidaktischen Anforderungen an ein gelungenes Experiment abgeleitet wurde. Auf diese Weise entstand ein Kategoriensystem zu positiven wie negativen Einflüssen alternativer Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischer Labormaterialien auf organisatorische, experimentelle und affektive Anforderungen an ein Experiment im Chemieunterricht. Mit Blick auf Studie II vor allem relevant sind dabei die Einflüsse auf experimentelle und affektive Anforderungen. So wurden die entsprechenden Ergebnisse abschließend zu sechs Hypothesen zusammengefasst, die als Grundlage für Studie II – der Schülerperspektive – dienen, in der diese Hypothesen sowohl quantitativ als auch qualitativ untersucht wurden. Folglich wurde in diesem zweiten Teil der Gesamtuntersuchung sowohl auf Datenerhebungsmethoden des quantitativen wie qualitativen Spektrums zurückgegriffen.

Insgesamt nahmen $N = 14$ Klassen unterschiedlicher Jahrgangsstufen von Gesamtschulen und Gymnasien an Studie II teil. Eingebettet in den regulären Unterrichtsgang führte jede Klasse ein typisches Schülerexperiment sowohl in alternativer als auch klassischer Materialvariante durch, indem die Klasse randomisiert auf beide Materialvarianten aufgeteilt wurde. Im Anschluss an das durchgeführte Experiment wurde im Rahmen eines Fragebogens von $N = 237$ SchülerInnen ihre Wahrnehmung der Experimentiersituation hinsichtlich der abhängigen Variablen *Herausforderung*, *Beobachtbarkeit*, *Autonomieerleben*, *Anspannung/ Druck*, *Kompetenzerleben* sowie *Interesse/ Vergnügen* erhoben, um die aus Studie I abgeleiteten Hypothesen der Lehrkräfte quantitativ zu validieren. Ergänzt wurde diese Schülerwahrnehmung durch schriftlich zu beantwortende, offene Fragen innerhalb des Fragebogens. Dabei wurden die SchülerInnen unter anderem gefragt, was ihnen an den jeweiligen Materialien (nicht) gut gefallen habe und mit welchem Materialpool sie zukünftig lieber experimentieren wollen würden.

Statt dieser Fragebogenerhebung wurde mit $N = 4$ SchülerInnen pro Klasse (d.h. insgesamt $N = 56$ SchülerInnen) ein leitfadengestütztes Gruppeninterview geführt. Anders als die SchülerInnen der Fragebogenerhebung führten die interviewten SchülerInnen das jeweilige Experiment *sowohl* mit klassischen Labormaterialien *als auch* mit alternativen Experimentiermaterialien durch, bevor sie anschließend ebenfalls zu ihrer Wahrnehmung der Experimentiersituation befragt wurden. Theoretische Grundlage des eingesetzten Interviewleitfadens ist dieselbe wie die in Studie I; auch die interviewten SchülerInnen wurden folglich zu ihrer Wahrnehmung von Vor- und Nachteilen beider Materialpools bezüglich fachdidaktischer Anforderungen an ein gelungenes Experiment befragt.

Für alle mit qualitativen Methoden erhobenen Daten dieser Untersuchung wurde dieselbe Vorgehensweise in der Auswertung gewählt. Dabei bildeten die fachdidaktischen Anforderungen an ein Schulexperiment stets die Selektionskriterien für die Analyse des Interviewmaterials sowie die Analyse der offenen Fragen im Fragebogen. Auch zur Auswertung der Schülerinterviews ist also ein Kategoriensystem entwickelt worden, in dem – ausgehend von den zwölf Materialeigenschaften, in denen sich klassische und alternative Experimentiermaterialien voneinander unterscheiden – der Einfluss beider Materialpools auf fachdidaktische Anforderung an ein gelungenes Experiment zusammengefasst wurde. Aufgrund des gewählten Mixed-Method-Designs konnten die Ergebnisse dieser qualitativen Daten anschließend zur Interpretation der Ergebnisse der quantitativen

Fragebogenerhebung hinzugezogen werden. Zur Integration der Ergebnisse der ersten und zweiten Studie wurden die Perspektiven von Lehrkräften und SchülerInnen abschließend vor dem gemeinsamen theoretischen Hintergrund beider Studien zusammengefasst und interpretiert. Insgesamt entstand daraus ein umfassendes, perspektiventrianguliertes Bild zu Vorzügen und Grenzen alternativer Experimentiermaterialien sowie klassischer Labormaterialien in Bezug auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment im Chemieunterricht.

7.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Diese Arbeit konnte zeigen, dass alternative Experimentiermaterialien und klassische Labormaterialien sich in ihrer Ausprägung in zwölf Materialeigenschaften unterscheiden: ihrem Alltagsbezug, ihrer Beschaffungsform, der für das jeweilige Experiment benötigten Chemikalienmenge, ihrer Etabliertheit im Unterricht, ihrem Bezug zum Fach Chemie, ihrer Funktionalität, ihrem Gefahrenpotential, ihrer Einzelgröße sowie der Größe und Komplexität entsprechender Versuchsaufbauten, in ihrem materiellen Wert und ihrer Robustheit. Ausgehend von diesen unterschiedlichen Eigenschaftsausprägungen der Materialpools konnten anschließend Einflüsse des Experimentiermaterials auf fachdidaktische Qualitätsansprüche an ein Experiment im Chemieunterricht identifiziert werden; dabei auf organisatorische Anforderungen (finanzielle und materielle Rahmenbedingungen, Zeitaufwand, Arbeitssicherheit), experimentelle Anforderungen (Grad der Herausforderung, Durchschaubarkeit, Gelungenheit) sowie auf affektive Anforderungen (Motivation, Interesse).

Mit Blick auf Grundbedürfnisse zur Genese von Motivation beim Experimentieren konnte ein Vergleich von alternativen Experimentiermaterialien und klassischen Labormaterial zeigen, dass das Experimentiermaterial zwar signifikant das Autonomieerleben, nicht aber das Kompetenzerleben von SchülerInnen beeinflusst. Das stärkere Autonomieerleben im Kontext alternativer Experimentiermaterialien wird vor allem auf deren oftmals alltagsbekannte Bedienung und das geringere Gefahrenpotential zurückgeführt, die den SchülerInnen ein stärkeres Erleben von Selbstständigkeit in der Experimentiersituation vermitteln. Auch wenn zwischen dem Experimentiermaterial und der hier

verwendeten Operationalisierung des Kompetenzerlebens wiederum kein unmittelbarer Zusammenhang festgestellt wurde, konnte die Untersuchung zeigen, dass jedoch alle Faktoren, von denen Erfolgserlebnisse beim Experimentieren und damit das Erleben von Kompetenz theoretisch abhängen, wiederum deutlich vom Experimentiermaterial beeinflusst werden, hier der Grad der Herausforderung, die Durchschaubarkeit und rein qualitativ auch die Gelungenheit eines Experiments.

In Bezug auf den Grad der Herausforderung konnte mit einer Ausnahme für alle in dieser Untersuchung betrachteten Experimente quantitativ bestätigt werden, dass das Experimentieren mit klassischem Labormaterial herausfordernder ist als das Experimentieren mit alternativem Experimentiermaterial. Auch für das davon ausgenommene Experiment konnte dieser Zusammenhang qualitativ bestätigt werden, sodass insgesamt wiederum von einem experimentübergreifend geltenden Einfluss des Materials ausgegangen wird. Gründe dafür liegen in einer höheren Komplexität klassischer Labormaterialien in Aufbau und Bedienung sowie einer während des Experimentierens vorgenommenen, bei Einsatz klassischer Labormaterialien höher ausfallenden Folgenabschätzung aus Gefahrenpotential, Robustheit und Materialwert. Dieselben Materialeigenschaften werden auch herangezogen, um eine signifikant stärkere Anspannung beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial zu erklären. Aufgrund dieser Faktoren in Kombination vermuten Lehrkräfte, dass vor allem SchülerInnen mit geringeren Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren im Umgang mit alternativen Experimentiermaterialien eine geringere Hemmschwelle zeigen, sich das Experimentieren eher zutrauen und somit ihre eigene Kompetenz eher erleben als beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial. Ein Zusammenhang zwischen den Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren und der Materialpräferenz der SchülerInnen konnte mit den hier gewählten Erhebungsinstrumenten jedoch nicht nachgewiesen werden.

Der Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit von Experimenten ist vielschichtig und kann nicht pauschal formuliert werden. Deutlich feststellen ließ sich, dass sich die funktionale Bekanntheit der Einzelteile, die geringere Folgenabschätzung und dadurch stärkere Fokussierung auf die chemischen Vorgänge und die Apparatur sowie die Materialreduktion im Rahmen alternativer Versuchsaufbauten nur dann positiv auf dessen Durchschaubarkeit auswirken, wenn die Einzelmaterialien und der Versuchsaufbau eine hinreichende Stabilität aufweisen. So liegt in der Instabilität vieler

alternativer Materialien und Versuchsaufbauten eine, im Vergleich zu klassischem Labormaterial, Kernkritik an alternativen Experimentiermaterialien bezüglich der Sicherheit beim Experimentieren. Als weiterer Vorteil von Versuchsaufbauten mit klassischem Labormaterial bezüglich der Durchschaubarkeit chemischer Vorgänge und Versuchsaufbauten konnte deren oftmals geringere Materialdichte identifiziert werden. Diese erlaubt es, vor allem die Durchschaubarkeit von Reaktionsverläufen zu erleichtern.

Hinsichtlich der Gelungenheit der Experimente konnte kein statistischer Zusammenhang zum verwendeten Experimentiermaterial festgestellt werden, jedoch weisen Ergebnisse der qualitativen Daten in Bezug auf Schülerexperimente darauf hin, dass Einzeleffekte mit klassischem Material dennoch länger, detaillierter und deutlicher voneinander getrennt zu beobachten sind und (Farb-) Effekte intensiver wahrgenommen werden können. Aufgrund dessen sieht eine deutliche Mehrheit der hier befragten Lehrkräfte vor allem im Rahmen von Demonstrationsexperimenten keinen Mehrwert im Einsatz miniaturisierter alternativer Experimentiermaterialien – auch nicht der Medizin- und Spritzentechnik im Speziellen.

Mit Blick auf die fachdidaktische Anforderung des Generierens von Interesse konnte bei genauerer statistischer Überprüfung gezeigt werden, dass das Interesse von SchülerInnen in einer Experimentiersituation signifikant höher ist, wenn mit klassischen Labormaterialien statt mit (umfunktionierten) Alltagsmaterialien experimentiert wird. In den qualitativen Daten zeigt sich diesbezüglich sowohl aus Lehrer-, vor allem aber aus Schülerperspektive eine Erwartungshaltung an authentisches Experimentieren im Chemieunterricht, die den Einsatz klassischer, deutlich fachbezogener Labormaterialien vorsieht. Es konnte auch gezeigt werden, dass SchülerInnen mit hohem Interesse an Chemie und am Experimentieren signifikant häufiger das Experimentieren mit klassischem Labormaterial bevorzugen. Dennoch konnte ebenso festgestellt werden, dass das Interesse von SchülerInnen in einer Experimentiersituation signifikant höher ist, wenn mit Materialien der Medizintechnik statt mit klassischem Labormaterial experimentiert wird. Sowohl aus der Perspektive der Lehrkräfte als auch SchülerInnen ist daher anzunehmen, dass erst im Rahmen von (umfunktionierten) Alltagsmaterialien ein gewisser Grad an akzeptabler Improvisation und fehlendem Fachbezug überschritten wird, wohingegen ihnen die Medizin-, und hier vor allem die Spritzentechnik, weiterhin das Gefühl des authentischen, professionellen Experimentierens vermittelt.

Unabhängig von beschriebenen Vorteilen alternativer Experimentiermaterialien sei abschließend zusammengefasst, dass Lehrkräfte für die Etablierung alternativer Experimentiermaterialien in die reguläre Chemiesammlung einer Schule keine akute Notwendigkeit sehen. Wenngleich ein reduzierter Chemikalieneinsatz sowie ein zügigerer Versuchsaufbau und -abbau einen Vorteil mit Blick auf die Zeiteffizienz im Unterricht bedeuten, alternative Experimentiermaterialien gegenüber ihrem klassischen Materialpendant glasbruchsicher sind und entsprechende Experimentieranleitungen auf den Bunsenbrenner als Gefahrenquelle verzichten, stellen alternative Experimentiermaterialien für Lehrkräfte folglich keine tatsächliche Alternative für klassisches Labormaterial dar. Als größte Hindernisse werden ein Vor- und Nachbereitungsaufwand im Sinne der Anschaffung der Materialien sowie in der Wartung gegebenenfalls zusammengestellter Low-Cost-Sets genannt. Weitere Gründe liegen insbesondere in Nachteilen bezüglich der Arbeitssicherheit. Kritisiert werden, neben der bereits beschriebenen Instabilität einzelner alternativer Materialien sowie Versuchsaufbauten im Gesamten, eine Gefahr beim Einsatz von Kanülen gerade in jüngeren Klassenstufen sowie ein Spielcharakter alltagsbekannter Experimentiermaterialien. Eine Ausnahme sehen Lehrkräfte in der Etablierung einfacher Kunststoffspritzen für den Einsatz im *Schülerexperiment*, die, unter der Voraussetzung einer gewissen Regelmäßigkeit im Einsatz, als wünschenswerte Ergänzung bis hin zu einem Ersatz für klassische Kolbenprober, Büretten und Peleusbälle eingestuft werden.

Wenn auch nicht als solche intendiert, ist den Ergebnissen dieser Untersuchung zufolge zusammenzufassen, dass alternative Experimentiermaterialien aus fachdidaktischer Perspektive keinen Ersatz für klassisches Labormaterial darstellen können.

7.3 Theoretische und praktische Implikationen

Die vorliegende Arbeit leistet sowohl theoretische als auch praktische Implikationen für die fachdidaktische Forschungslandschaft und den experimentellen Chemieunterricht in der Schulpraxis:

- Ausgehend von fachspezifischen Modellen zur Beeinflussung von Unterrichtsqualität konnte das Experimentiermaterial im Rahmen dieser Untersuchung als Qualitätsmerkmal des Chemieunterrichts herausgearbeitet werden. Schließlich zeigt sich ein deutlicher

Einfluss des Experimentiermaterials auf Qualitätsmerkmale und fachdidaktische Anforderungen an ein Schulexperiment.

- Zukünftigen Forschungsvorhaben zu alternativen Experimentiermaterialien im Chemieunterricht wird angeraten, deutlich zwischen Materialien der Medizintechnik und (umfunktionierten) Alltagsmaterialien zu differenzieren, da der jeweilige Einfluss beider Materialkontexte auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment stark voneinander abweichen kann. Ebenso sollte festgelegt werden, ob Einzelmaterialien oder Versuchsaufbauten miteinander verglichen werden.
- Aus theoretischer Perspektive leistet die Untersuchung einen Beitrag, um den Zusammenhang zwischen dem Experimentiermaterial als Qualitätsmerkmal von Chemieunterricht und der Wahrnehmung einer Experimentiersituation durch SchülerInnen besser zu verstehen. Dabei konnte das Experimentiermaterial als fachdidaktisches Werkzeug identifiziert werden, durch das sich die Schülerwahrnehmung einer Experimentiersituation gezielt beeinflussen lässt. Für fachdidaktische Untersuchungen zum Lernen im Chemieunterricht ist die Erkenntnis zentral, dass lernförderliche Aspekte wie der angemessene Grad der Herausforderung, das Interesse während einer Experimentiersituation oder das zur Genese von Motivation zentrale Grundbedürfnis nach Autonomie durch das konkret eingesetzte Experimentiermaterial signifikant beeinflusst werden können. Für die Unterrichtspraxis gilt das Experimentiermaterial folglich als Möglichkeit zur Öffnung experimenteller Phasen im Chemieunterricht sowie als Möglichkeit zur Differenzierung und Begegnung auf die Heterogenität einer Lerngruppe, um Experimentierphasen im Chemieunterricht gezielter nach Schülerfähigkeiten und individuellen Schülermerkmalen zu differenzieren, darunter zum Beispiel in Bezug auf unterschiedlich ausgeprägte motorische Fähigkeiten der SchülerInnen oder das Interesse an Chemie und am Experimentieren.
- Neben einem Einfluss auf die Schülerwahrnehmung einer Experimentiersituation konnte ein Zusammenhang zwischen dem Experimentiermaterial und individuellen Schülermerkmalen gezeigt werden. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Präferenz für klassisches Labormaterial und einem hohen Schülerinteresse an Chemie und am Experimentieren. Vor allem im Vergleich zu (umfunktionierten) Alltagsmaterialien betonen die Ergebnisse dieser Untersuchung folglich den hohen Stellenwert des Einsatzes klassischer Labormaterialien für ein als authentisch wahrgenommenes

Experimentieren im Chemieunterricht und das Interesse der SchülerInnen an Chemie und am Experimentieren. Offen bleibt indes die Frage, ob schwache Selbstwirksamkeitserwartungen von SchülerInnen beim Experimentieren durch den Einsatz alternativer Experimentiermaterialien gesteigert werden können oder sogar stärker gesteigert werden können als durch das Experimentieren mit klassischem Labormaterial. Sollte sich diese von Lehrkräften aufgestellte Hypothese in künftigen Untersuchungen bestätigen, wäre eine Integration ausgewählter alternativer Experimentiermaterialien in den Chemie-Anfangsunterricht denkbar, um SchülerInnen an das Experimentieren heranzuführen und das experimentelle Arbeiten nicht von Beginn an mit klassischem Labormaterial und damit einem signifikant stärkeren Gefühl der Anspannung als potentiell negativer Prädiktor des Interesses zu verbinden.

- Durch eine starke Praxisorientierung trägt die Untersuchung dazu bei, Chancen und Grenzen alternativer Experimentiermaterialien im Vergleich zu klassischem Labormaterial zu identifizieren, die nun als empirisch gesicherte Rückmeldung auf verschiedenen schulorganisatorischen Ebenen verwendet werden können. So dienen die Ergebnisse zum einen als Rückmeldung an Lehrkräfte auf unterrichtspraktischer Ebene, zum anderen können die Ergebnisse auch als Argumentationsgrundlage für schulische Entscheidungsträger herangezogen werden, beispielsweise bei der Entscheidung für die Etablierung der Spritzentechnik zum Einsatz in Schülerexperimenten.
- Vor dem Hintergrund des anhaltenden Low-Cost-Trends sollen die Ergebnisse zur Reflexion und kritischen Auseinandersetzung mit Experimentiermaterialien als Mittel zur Gestaltung und Beeinflussung einer Experimentierumgebung anregen. Folglich erstrebenswert ist die Nutzung der Ergebnisse in der Lehreraus- und -fortbildung. In einem ersten Schritt muss Lehrkräften die Bedeutung des Experimentiermaterials als Mittel zur gezielten Gestaltung von Experimentierumgebungen vor Augen geführt werden. Anschließend können Lehrkräfte die Ergebnisse dieser Untersuchung als Anlass nehmen, um bei der Gestaltung ihres experimentellen Chemieunterrichts, möglichst experiment- und lerngruppenspezifisch, die Vorteile und das größtmögliche Potential beider Materialpools sinnvoll ausschöpfen zu können.

7.4 Ausblick

Mit dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die chemiedidaktische Forschungslandschaft dem Experimentiermaterial, seinem Einfluss auf die Wahrnehmung einer Experimentierumgebung und damit das Lernen im Chemieunterricht einen höheren Stellenwert zuschreiben sollte, als sie es bislang getan hat. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse nur für die betrachtete Stichprobe, aber vor allem die betrachteten Experimente und damit für die konkret einbezogenen Experimentiermaterialien gelten können. Auch wenn durch die Wahl der Experimente eine möglichst große Bandbreite gängiger Experimente und Experimentiermaterialien abgedeckt werden konnte, können Verallgemeinerungen auf weitere Experimente und damit Experimentiermaterialien des alternativen beziehungsweise klassischen Materialpools nur angenommen werden. Anschließende Forschungsvorhaben sollten sich demnach mit folgenden Aspekten auseinandersetzen:

- Vor allem mit Blick auf die Interviewstudie unter Lehrkräften ist davon auszugehen, dass zwar ein breites Meinungsbild abgebildet wurde, jedoch – wie bei jeder qualitativen Interviewstudie – nicht der Anspruch erhoben werden kann, die Perspektive von Lehrkräften vollständig erfasst zu haben. Eine Ausweitung der Stichprobe wäre wünschenswert, um die Ergebnisse zu validieren, zu ergänzen und über das Mittel der Quantifizierung inhaltliche Schwerpunkte bezüglich zentraler Einflüsse des Experimentiermaterials auf fachdidaktische Anforderungen zu setzen statt, wie in dieser Untersuchung, eine Fülle von Anforderungen gleichzeitig zu betrachten.
- In Studie II zur Schülerperspektive ist die Stichprobe experimentübergreifend ausreichend groß, um statistisch gesicherte Aussagen treffen zu können, auf Experimentebene ist die Gruppenzuordnung der SchülerInnen zu alternativem Experimentiermaterial beziehungsweise klassischem Labormaterial für eine Varianzanalyse jedoch klein. Zu denjenigen Variablen, zu denen eine Varianzanalyse auf Experimentebene durchgeführt wurde, wäre ebenfalls eine weitergehende Untersuchung mit vergrößerter Stichprobe und detaillierteren Informationen über deren experimentelle Fähigkeiten wünschenswert, um die Ergebnisse der Untersuchung zu bestätigen, zu spezifizieren und / oder zu erweitern. Dies würde vor allem mit Blick auf die Beeinflussung des Kompetenzerlebens durch das Experimentiermaterial größere Klarheit schaffen.

- Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich künftig intensiver mit dem Zusammenhang von Experimentiermaterialien und Schülermerkmalen sowie Schülerfähigkeiten auseinandergesetzt werden sollte. Zunächst ist es notwendig, gezielt die hier formulierten Zusammenhänge zwischen dem Interesse der SchülerInnen an Chemie, ihrem Interesse am Experimentieren sowie ihren Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren und ihrer Präferenz bezüglich des Arbeitens mit alternativen beziehungsweise klassischen Experimentiermaterialien auf methodisch anderem, stärker gesicherten Wege zu prüfen. Wünschenswert wäre außerdem eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem regelmäßigen Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im Chemie-Anfangsunterricht und den Selbstwirksamkeitserwartungen von SchülerInnen im Vergleich zum Einsatz klassischer Labormaterialien. Darüber hinaus wurde in dieser Untersuchung nicht nach dem Alter der SchülerInnen differenziert, da der Fokus zunächst auf einem Gesamteindruck über konkrete Jahrgangsstufen hinweg lag.

- Es muss angemerkt werden, dass die hier präsentierten Studien einen *ersten Blick* auf den Einfluss alternativer Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischer Labormaterialien auf die Qualität des experimentellen Chemieunterrichts eröffnen und daher ein inhaltlich sehr breites Spektrum fachdidaktisch relevanter Anforderungen an gelungene Experimente gleichzeitig zur Untersuchung stellen. Damit liefern die Studien Ansätze zu verschiedenen Aspekten, die von Folgestudien separat und differenzierter aufgegriffen werden können. Dabei sei vor allem auf die Ergebnisse zum Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit von Versuchsaufbauten und chemischer Vorgänge sowie den kognitiven Fokus von SchülerInnen beim Experimentieren hingewiesen, die insbesondere für die in dieser Arbeit vernachlässigte Versuchsauswertung relevant sind. Vermeintlichen Feinheiten wie der Dauer der zu beobachtenden Effekte in Abhängigkeit von der einzelnen Materialgröße und damit eingesetzten Chemikalienmenge scheinen für die Durchschaubarkeit eines Schülerexperiments eine zentrale Bedeutung einzunehmen.

- Lehrkräfte formulieren einen Einfluss des Experimentiermaterials auf die Durchschaubarkeit von Demonstrationsexperimenten mit der Medizintechnik im Vergleich zu Demonstrationsexperimenten, die mit klassischem Labormaterial realisiert sind. Entsprechend der Argumentation der Lehrkräfte und SchülerInnen sei zum Abschluss der Arbeit die Hypothese aufgestellt, dass Demonstrationsexperimente mit klassischem Labormaterial durchschaubarer sind und der chemische Vorgang innerhalb einer Apparatur mit

klassischem Labormaterial besser nachvollzogen werden kann als im Rahmen von Demonstrationsexperimenten mit der Medizintechnik. Diese Hypothese gilt es in weiterführenden Vergleichsstudien zu überprüfen.

8 Literaturverzeichnis

- Abdullah, M., Mohamed, N. & Ismail, Z. (2009). The effect of individualized laboratory approach through microscale chemistry experimentation on students' understanding of chemistry concepts, motivation and attitudes. *Chemistry Education Research and Practice*, 10 (1), 53-61.
- Abrahams, I. (2009). Does Practical Work Really Motivate? A Study of the affective value of practical work in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 31 (17), 2335-2353.
- Ackermann, G. (1959). *Einführung in die qualitative anorganische Halbmikroanalyse*. Berlin.
- Akreml, L. (2014). Stichprobenziehung in der qualitativen Sozialforschung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch der Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 265-282). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Anders, C. & Berg, R. (2005). Factors related to observed attitude change toward learning chemistry among university students. *Chemical Education of Research and Practice*, 6 (1), 1-18.
- Apel, H. J. (2009). Planung und Vorbereitung von Unterricht und Lernumgebungen - Planungstheorien. In H. J. Apel & W. Sacher (Hrsg.), *Studienbuch Schulpädagogik* (4. Aufl., S. 260-283). Bad-Heilbrunn: Klinkhardt UTB.
- Arzi, H. J. (2003). Enhancing Science Education Through Laboratory Environments: More Than Walls, Benches and Widges. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Hrsg.), *International Handbook of Science Education* (Bd. 1, S. 595-608). Dordrecht/ Boston/ London: Kluwer Academic Publishers.
- Bader, H. J. (2003). Nachhaltigkeit und nachhaltiges Arbeiten. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 52 (3), 16-20.
- Bader, H. J. & Lühken, A. (2018). Anforderungen an ein Schulexperiment. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (S. 462-466). Seelze: Aulis.

- Bader, H. J. & Schmidkunz, H. (2002). Das Experiment im Chemieunterricht. In P. Pfeifer, P. Häußler & B. Lutz (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (S. 292-327). Oldenbourg: Oldenbourg Schulbuchverlag.
- Bandura, A. (1993). Perceived self-efficacy in cognitive development and functioning. *Educational Psychologist*, 28 (2), 117-148.
- Barth, U. (2005). *Chemischer Experimentalunterricht in der Fächergruppe Physik/ Chemie/ Biologie. Entwicklung, Umsetzung und Evaluation eines Fortbildungskonzeptes für Lehrkräfte an der bayerischen Hauptschule*. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität. Erlangen-Nürnberg.
- Baumbach, E. (1989). *Chemische Schulversuche mit dem Mikroglassbaukasten*. Bonn: Dümmler.
- Baumert, J. & Köller, O. (2000). Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In H. R. Lehmann (Hrsg.), *TIMSS/ III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie. Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn*. Opladen: Leske + Budrich.
- Behrendt, H. (1990). *Physikalische Schulversuche. Didaktische Theorie, methodische Praxis und die Einstellung von Schülern zur Auswahl der Versuchsgeräte*. Dissertation. Pädagogische Hochschule Kiel.
- Behrendt, H. & Schlichting, H. J. (2000). Versuche mit einfachen Mitteln - zwischen Physik und Alltag. *Unterricht Physik*, 11 (57), 4-6.
- Betz, A., Flake, S., Mierwald, M. & Vanderbeke, M. (2016). Modelling authenticity in teaching and learning contexts: a contribution to theory development and empirical investigation of the construct. In C.-K. Looi, J. Polman, U. Cress & P. Reimann (Hrsg.), *Transforming learning, empowering learners. The International Conference of the Learning Sciences (ICLS)* (S. 815-818). The International Society of the Learning Sciences: Singapur.
- Billmann-Mahecha, E. & Gebhard, U. (2014). Die Methode der Gruppendiskussion zur Erfassung von Schülerperspektiven. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 147-158). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

- Borstel, G. v. & Böhm, A. (2004). ChemZ - Chemieunterricht mit medizintechnischem Zubehör. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 15 (81), 48-49.
- Borstel, G. v. & Böhm, A. (2006). Ein preiswerter Hofmannscher Zersetzungsapparat für Schülerübungen. Medizintechnik als kostengünstiger Ersatz für Glasgeräte. *MNU*, 59 (6), 362-364.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Bradley, J. D. (1999). Hands-on practical chemistry for all. *Pure and Applied Chemistry*, 71 (5), 817-823.
- Bradley, J. D. (2006). The Microscience Project and its Impact on Pre-Service and In-Service Teacher Education. In M. Hugerat, P. Schwarz & M. Livneh (Hrsg.), *Microscale Chemistry Experimentation for All Ages* (S. 26-39). Haifa.
- Brand, B. H. (2013). "Low-cost Experimente". *Versuche mit medizintechnischen Geräten*. Zugriff am 16.10.2019. Verfügbar unter www.bhbrand.de
- Britner, S. L. & Pajares, F. (2006). Sources of Science Self-Efficacy Beliefs of Middle School Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 43 (5), 485-499.
- Chambers, D. W. (1983). Stereotypic Images of the Scientist: The Draw-A-Scientist Test. *Science Education*, 67 (2), 255-265.
- Cheung, D. (2009). Student's Attitude towards Chemistry Lessons: The Interaction between Grade Level and Gender. *Research in Science Education*, 39 (1), 75-91.
- Clausen, M. (2002). *Qualität von Unterricht - eine Frage der Perspektive?* Münster: Waxmann.
- Clausen, M., Reusser, K. & Klieme, E. (2003). Unterrichtsqualität auf der Basis hochinferenter Unterrichtsbeurteilungen. Ein Vergleich zwischen Deutschland und der deutschsprachigen Schweiz. *Unterrichtswissenschaft*, 31 (2), 122-141.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20 (1), 37-46.
- Creswell, J. W. & Plano Clark, V. L. (2011). *Designing and conducting mixed methods research* (2. Aufl.). Thousand Oaks, California: Sage.

- Csikszentmihalyi, M. & Schiefele, U. (1994). Interest and the Quality of Experience in Classrooms. *European Journal of Psychology of Education*, 10 (3), 251-270.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11 (4), 227-268.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2003). *Intrinsic Motivation Inventory*. Zugriff am 25.03.2020. Verfügbar unter <https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>
- Di Fuccia, D., Witteck, T., Markic, S. & Eilks, I. (2012). Trends in Practical Work in German Science Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 8 (1), 59-72.
- Ditton, H. (2007). Schulqualität – Modelle zwischen Konstruktion, empirischen Befunden und Implementierung. In J. van Buer & C. Wagner (Hrsg.), *Qualität von Schule. Ein kritisches Handbuch* (S. 83-92). Frankfurt/ Main: Lang.
- Dorfman, B.-S. & Fortus, D. (2019). Students' self-efficacy for science in different school systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 56 (8), 1037-1059.
- Eilks, I. & Markic, S. (2007). Kooperatives Lernen im Chemieunterricht. Konzipierung und Untersuchung von Unterrichtseinheiten durch Partizipative Aktionsforschung. In K. Rabenstein & S. Reh (Hrsg.), *Kooperatives und selbstständiges Arbeiten von Schülern. Zur Qualitätsentwicklung von Unterricht* (1. Aufl., S. 209-230). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Einsiedler, W. (2002). Das Konzept "Unterrichtsqualität". *Unterrichtswissenschaft*, 30 (3), 194-196.
- El-Marsafy, M. K. & Schwarz, P. (2002a). Geräte zum Experimentieren im Kleinmaßstab. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 13 (70/ 71), 96-97.
- El-Marsafy, M. K. & Schwarz, P. (2002b). Mikrochemisches Experimentieren mit Pfening und Dose. *CHEMKON*, 9 (3), 147-149.
- El-Marsafy, M. K., Schwarz, P. & Najdoski, M. (2011). *Microscale Chemistry Experiments. Using Water and Disposable Materials*. Kuwait.
- Emden, M. (2012). Prozessorientierte Leistungsbewertung. Zur Eignung einer Protokollmethode für die Bewertung von Experimentierprozessen. *MNU*, 65 (2), 68-75.

- Engeln, K. (2004). Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 36). Berlin: Logos.
- Euler, M. (2001). Lernen durch Experimentieren. In U. Ringelband, M. Prenzel & M. Euler (Hrsg.), *Lernort Labor. Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung und Wirtschaft. Bericht über einen Workshop*. Kiel: IPN.
- Fechner, S. (2009). Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 95). Berlin: Logos.
- Fend, H. (2001). *Qualität im Bildungswesen. Schulforschung zu Systembedingungen, Schulprofilen und Lehrerleistung*. Weinheim: Juventa.
- Fischer, H. E., Borowski, A., Kauertz, A. & Neumann, K. (2010). Fachdidaktische Unterrichtsforschung. Unterrichtsmodelle und die Analyse von Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 59-75.
- Fleiss, J. L. & Cohen, J. (1973). The equivalence of weighted Kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educational and Psychological Measurement*, 33 (3), 613-619.
- Flick, U. (2011). Triangulation. Eine Einführung. In R. Bohnsack, U. Flick, C. Lüders & J. Reichertz (Hrsg.), *Qualitative Sozialforschung* (Bd. 12). Wiesbaden: VS Verlag.
- Flick, U. (2014). Gütekriterien qualitativer Sozialforschung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch der Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 411-423). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Flick, U. (2017). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung* (8. Aufl.). Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Förtsch, C., Werner, S., Dorfner, T., Kotzebue, L. v. & Neuhaus, B. (2017). Effects of Cognitive Activation in Biology Lessons on Students' Situational Interest and Achievement. *Research in Science Education*, 47 (3), 559-578.
- Fraser, B. J., Walberg, H. J., Welch, W. W. & Hattie, J. A. (1987). Syntheses of educational productivity research. *International Journal of Educational Research*, 11 (2), 145-252.

- Freedman, M. P. (1997). Relationship among laboratory instruction, attitude toward science, and achievement in science knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (4), 343-357.
- Gardner, P. & Gauld, C. (1990). Labwork and students' attitudes. In E. Hegarty-Hazel (Hrsg.), *The Student Laboratory and the Science Curriculum* (S. 132-156). London: Routledge.
- Girwidz, R. (2010). Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 193-245). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Goetz, T., Zirngibl, A., Pekrun, R. & Hall, N. (2003). Emotions, Learning and Achievement from an Educational-Psychological Perspective. In P. Mayring & C. von Rhoe-neck (Hrsg.), *Learning emotions: the influence of affective factors on classroom learning* (S. 9-28). Frankfurt/ Main: Peter Lang.
- Groß, K. (2013). Experimente alternativ dokumentieren. Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 154). Berlin: Logos.
- Harlen, W. (1999). *Effective Teaching of Science. A Review of Research*. Edinburgh.
- Härtig, H., Neumann, K. & Erb, R. (2017). Experimentieren als Interaktion von Situation und Person. Ergebnisse einer Expertenbefragung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 71-80.
- Harvey, L. & Green, D. (1993). Defining Quality. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, 18 (1), 9-34.
- Häusler, K.-G. (1991). Halbmikrotechnik im Anfangsunterricht am Beispiel Kupfersulfat - eine Einführung mit Recycling-Modell-Charakter. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 40 (1), 17-26.
- Häusler, K.-G. (1993). Die Halbmikrotechnik. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 41 (4), 10-13.
- Hegarty-Hazel, E. (1990). The Student Laboratory and the Science Curriculum: An Overview. In E. Hegarty-Hazel (Hrsg.), *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. London: Routledge.

- Helmke, A. (2002). Kommentar: Unterrichtsqualität und Unterrichtsklima: Perspektiven und Sackgassen. *Unterrichtswissenschaft*, 30 (3), 261-277.
- Helmke, A. (2003). *Unterrichtsqualität Erfassen, Bewerten, Verbessern*. Seelze: Kallmeyer.
- Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität - Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Seelze-Velbert: Kallmeyer/ Klett.
- Helmke, A. & Schrader, F.-W. (2010). Merkmale der Unterrichtsqualität. Potenzial, Reichweite und Grenzen. In B. Schaal & F. Huber (Hrsg.), *Qualitätssicherung im Bildungswesen. Auftrag und Anspruch der bayerischen Qualitätsagentur* (S. 69-108). Münster: Waxmann Verlag GmbH.
- Hessisches Kultusministerium (2016). *Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen*. Wiesbaden.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22 (1), 85-142.
- Hofstein, A. (2004). The Laboratory in Chemistry Education: Thirty Years of Experience with Developments, Implementation, and Research. *Chemistry Education Research and Practice*, 5 (3), 247-264.
- Hofstein, A. & Kempa, R. F. (1985). Motivating strategies in science education: Attempt at an analysis. *European Journal of Science Education*, 7 (3), 221-229.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52 (2), 201-217.
- Hopf, M. (2007). Problemorientierte Schülerexperimente. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 68). Berlin: Logos.
- Höttecke, D. (2001). Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 16). Berlin: Logos.
- Hünig, S. (1984). Über die Bedeutung von Experimenten im Chemieunterricht. *Der Chemieunterricht*, 15 (2), 8-12.

- Jansen, M., Lüdtke, O. & Schroeders, U. (2016). Evidence for a positive relation between interest and achievement: Examining between-person and within-person variation in five domains. *Contemporary Educational Psychology*, 46, 116-127.
- Jerusalem, M. & Diether, H. (Hrsg.). (2002). Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen. *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft 44*. Weinheim: Beltz.
- Kaiser, R. (2014). Qualitative Experteninterviews. Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung. In H.-G. Ehrhart, B. Frevel, K. Schubert & S. S. Schüttemeyer (Hrsg.), *Elemente der Politik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Kappenberg, F. (1998). Gaschromatographie für Schülerübungen. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 47 (4), 37-41.
- Kechel, J.-H. (2016). Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 214). Berlin: Logos.
- Kelkar, S. L. & Dhavale, D. D. (2000). Microscale experiments in chemistry - The need of the new millenium. Newer ways of teaching laboratory courses with new apparatus. *Resonance*, 5 (10), 24-31.
- Kerr, J. F. (1963). *Practical Work in School Science*. Leicester: Leicester University Press.
- Keune, H. & Kuhnert, R. (1972). *Chemische Schulversuche. Halbmikrotechnik* (Bd. 4). Berlin: Volk und Wissen.
- Kimel, H., Bradley, J. D., Durbach, S., Bell, B. & Mungarulire, J. (1998). Hands-On Practical Chemistry for All: Why and How? *Journal of Chemical Education*, 75 (11), 1406-1409.
- Kircher, E. (2010). Über die Natur der Naturwissenschaften lernen. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 763-798). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, Practical Work and Academic Skills in Science Education. *Science and Education*, 1 (3), 273-299.

- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41 (2), 75-86.
- Klieme, E. (2006). Empirische Unterrichtsforschung: aktuelle Entwicklungen, theoretische Grundlagen und fachspezifische Befunde. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52 (6), 765-773.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M. et al. (2007). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards* (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Hrsg.), Bonn.
- Klieme, E., Schümer, G. & Knoll, S. (2001). Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I. "Aufgabenkultur" und Unterrichtsgestaltung. In *TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht* (S. 43-57).
- Klos, S. (2008). Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 89). Berlin: Logos.
- Kometz, A. & Krech, K. (1998). Küvettentechnik und Mikroglassbaukasten. Schülerexperimente bei Kombination verschiedener Halbmikrotechnik-Gerätesysteme. *Chemie in der Schule*, 45 (6), 348-354.
- Kotter, L. (1975). *Das Experiment im Chemieunterricht*. München: Sturmberger.
- Krapp, A. (1999). Intrinsische Lernmotivation und Interesse. Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45 (3), 387-406.
- Krapp, A. (2002). Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12, 383-409.
- Krapp, A. & Ryan, R. M. (2002). Selbstwirksamkeit und Lernmotivation. Eine kritische Betrachtung der Theorie von Bandura aus der Sicht der Selbstbestimmungstheorie und der pädagogisch-psychologischen Interessentheorie. In M. Jerusalem & H. Diether (Hrsg.), *Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen* (Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft 44, S. 54-82). Weinheim: Beltz.

- Kunter, M. (2005). *Multiple Ziele im Mathematikunterricht. Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie*. Münster: Waxmann.
- Lüdtke, O., Trautwein, U., Kunter, M. & Baumert, J. (2005). Reliability and agreement of student ratings of the classroom environment: A reanalysis of TIMSS data. *Learning Environments Research*, 9, 215-230.
- Lunetta, V. N., Hofstein, A. & Clough, M. P. (Hrsg.). (2007). *Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory and practice*. Mahwah: Erlbaum.
- Mafumiko, F. (2008). The Potential of Micro-scale Chemistry Experimentation in enhancing teaching and learning of secondary chemistry. Experiences from Tanzania Classrooms. *Journal of International Educational Cooperation*, 3, 63-79.
- Marohn, A., Schillmüller, R. & Stucky, S. (2021). Kaffeemaschine, Kaninchendraht & Co. Experimentieren mit Alltagsmaterialien. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 185 (9), 8-12.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 177-186). Berlin: Springer.
- Mayo, D. W., Pike, R. M. & Butcher, S. S. (1986). *Microscale organic laboratory*. New York: Wiley.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (11. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Mayring, P. (2014). *Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution*. Klagenfurt. Zugriff am 27.02.2019. Verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>
- Mayring, P. (2016). *Einführung in die qualitative Sozialforschung* (6. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- McGuire, P., Ealy, J. & Pickering, M. (1991). Microscale Laboratory at the High School Level. Time Efficiency and Student Response. *Journal of Chemical Education*, 68 (10), 869-871.

- Mead, M. & Métraux, R. (1957). Image of the Scientist among High-School Students. A Pilot Study. *Science*, 126 (3270), 384-390.
- Menzel, P. (1998). "Small is beautiful" oder "bigger is better"? Anmerkungen zum Maßstab chemischer Versuche. In A. Kometz (Hrsg.), *Chemieunterricht im Spannungsfeld Gesellschaft - Chemie - Umwelt* (S. 171-178). Berlin: Cornelsen.
- Merzyn, G. (1994). Zum Experiment im Physikunterricht. *Physik in der Schule*, 32 (9), 283-286.
- Millar, R., Le Maréchal, J.-F. & Tiberghien, A. (1999). "Mapping" the domain varieties of practical work. In J. Leach & A. C. Paulsen (Hrsg.), *Practical work in science education* (S. 33-59). Roskilde University Press.
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin: Cornelsen.
- Nehring, A. & Busch, S. (2018). Chemistry Demonstrations and Visual Attention: Does the Setup Matter? Evidence from a Double-Blinded Eye-Tracking Study. *Journal of Chemical Education*, 95 (10), 1724-1735.
- Nehring, A., Springfield, H. & Taubert, C. (2017). Die Gestaltgesetze für Demonstrationsexperimente unter der Lupe. Ein Forschungsbericht über den Einsatz von Eye-Treacking. *MNU*, 70 (6), 422-427.
- Nentwig, P. (1978). Schülerexperimente im Chemieunterricht schleswig-holsteinischer Realschulen. Über eine Untersuchung der Randbedingungen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/ Chemie*, 84 (26), 84-89.
- Neuhaus, B. (2007). Unterrichtsqualität als Forschungsfeld für empirische biologie-didaktische Studien. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologie-didaktischen Forschung* (S. 243-254). Berlin, Heidelberg: Springer-Lehrbuch.
- Niebert, K. & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-132). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Nießen, M. (1977). *Gruppendiskussion. Interpretative Methodologie: Methodenbegründung, Anwendung*. München: Wilhelm Fink.
- Nümann, W. (1985). Schülerübungen zwischen Aufwand und Ertrag. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 34 (6), 42-44.

- Obendrauf, V. (1996a). Experimente mit Gasen im Minimaßstab. *Chemie in unserer Zeit*, 30 (3), 118-125.
- Obendrauf, V. (1996b). Low-Cost-Rektifikation mit der Chembox: Der Topfreiniger als Füllkörper. *Chemie & Schule* (4).
- Obendrauf, V. (2000). Small is beautiful. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 49 (5), 1.
- Obendrauf, V. (2002). Toxisches Chlor vernünftig dosiert. Eine klassische Redox-Reaktion im „Instant Chemistry“-Design. *Chemie in der Schule*, 17 (1), 13-17.
- Obendrauf, V. (2004). Toxisches Chlor vernünftig dosiert. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 15 (81), 22-27.
- Obendrauf, V. (2006). *More Small Scale Hands On Experiments for easier teaching and learning*. Seoul.
- Okebukola, A. P. (1986). An Investigation of Some Factors Affecting Students' Attitudes Toward Laboratory Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 63 (6), 531-532.
- Oliver, R. L. (1977). Effect of Expectation and Disconformation on Postexposure Product Evaluations: An Alternative Interpretation. *Journal of Applied Psychology*, 62 (4), 480-486.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W. & Perry, R. P. (2002). Academic Emotions in Students' Self-Regulated Learning and Achievement: A Program of Qualitative and Quantitative Research. *Educational Psychologist*, 37 (2), 91-105.
- Peper, M., Schmidt, S., Wilm, M., Oetken, M. & Parchmann, I. (2007). Modellvorstellungen entwickeln und anwenden – Einsatz von Medien, Alltagsphänomenen und Experimenten. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* (100/ 101), 17-22.
- Pfeifer, P. (2006). Sicher Experimentieren. Zur Umsetzung der Gefahrstoffverordnung im Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 17 (96), 4-7.
- Pfeifer, P., Häußler, P. & Lutz, B. (Hrsg.). (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. Oldenbourg: Oldenbourg Schulbuchverlag.
- Pike, R. M. (2006). Through the Years with Microscale Chemistry. In M. Hugerat, P. Schwarz & M. Livneh (Hrsg.), *Microscale Chemistry Experimentation for All Ages* (S. 13-25). Haifa.

- Poppe, N., Markic, S. & Eilks, I. (2010). *Low-Cost-Experimentiertechniken für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Ein Handbuch für Lehrerinnen und Lehrer der naturwissenschaftlichen Fächer*. Institut für Didaktik der Naturwissenschaften. Zugriff am 25.03.2019. Verfügbar unter http://www.idn.uni-bremen.de/chemie-didaktik/salis_zusatz/material_pdf/lab_guide_low_cost_experiments_deutsch.pdf
- Prenzel, M. (1995). Zum Lernen bewegen. Unterstützung von Lernmotivation durch Lehre. *Blick in die Wissenschaft*, 4 (7), 58-66.
- Prenzel, M. & Doll, J. (Hrsg.). (2002). Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft 45*. Weinheim: Beltz.
- Prenzel, M. & Parchmann, I. (2003). Kompetenz entwickeln. Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 14 (76/ 77), 15-19.
- Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 315-337.
- Redeker, J. (1991). Miniaturisierte Laborgeräte – Verwendung in Industrie- und Forschungslaboratorien – Stand und Perspektive. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 40 (1), 11-12.
- Reinhold, P. (1994). *Offenes Experimentieren und Physiklernen*. Kiel: IPN.
- Rincke, K. (2016). *Experimente in ihren Funktionen für das Lernen*. Regensburg: Didaktik der Physik. Universität Regensburg. Zugriff am 09.04.2019. Verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:355-epub-364106>
- RiSU (2016). *Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht. Empfehlungen der Kultusministerkonferenz*.
- Roesky, H. W. (1998). *Chemie en miniature*. Weinheim: Wiley.
- Rumann, S. (2004). Kooperatives Experimentieren im Chemieunterricht. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 45). Berlin: Logos.

- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. *American Psychologist*, 55 (1), 68-78.
- Schaffer, S. & Pfeifer, P. (2011). Ziele von Schülerexperimenten. Von einer Ist-Standanalyse zur Unterrichtsentwicklung. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 23 (126), 10-13.
- Schallies, M. (1991). Mikrochemische Methoden im Schulexperiment - gestern, heute und morgen. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 40 (1), 2-5.
- Schiefele, U. (1996). *Motivation und Lernen mit Texten*. Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U., Krapp, A. & Winteler, A. (1992). Interest as a Predictor of Academic Achievement: A Meta-Analysis of Research. In K. A. Renninger, S. Hidi & A. Krapp (Hrsg.), *The Role of Interest in Learning and Development* (S. 183-212). New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Schiefele, U. & Schreyer, I. (1994). Intrinsische Lernmotivation und Lernen. Ein Überblick zu Ergebnissen der Forschung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 8 (1), 1-13.
- Schlichting, H. J. (2000). Hands- on, Low-cost, Freihand. Experimente zwischen Alltag und Physikunterricht. *Physik in der Schule*, 38 (4), 255-259.
- Schmidkunz, H. (1983). Die Gestaltung chemischer Demonstrationsexperimente nach wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/ Chemie*, 31 (10), 360-367.
- Schmitt, N. (1996). Uses and abuses of coefficient alpha. *Psychological Assessment*, 8 (4), 350-353.
- Schnelle, H.-O. (1991). Präparativ organisch-chemisches Praktikum im Halbmikromaßstab im Chemie-Leistungskurs. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 40 (1), 13-16.
- Schroedter, S. & Körner, H.-D. (2012). Entwicklung eines Fragebogens zur Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE_EX). In S. Bernholt (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht* (S. 164-166). Münster: Lit.-Verlag.

- Schulz, A. (2010). Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. Eine Videostudie. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 113). Berlin: Logos.
- Schüttler, T., Watzka, B., Girwidz, R. & Ertl, B. (2021). Die Wirkung der Authentizität von Lernort und Laborgeräten auf das situationale Interesse und die Relevanzwahrnehmung beim Besuch eines naturwissenschaftlichen Schülerlabors. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, 109-125.
- Schwan, T. (2005). Elektrochemie im Low-Cost-Maßstab. Elektrolyse, Schmelzelektrolyse und galvanische Elemente im Kontext der Unterrichtsreihe 'Atombau und chemische Bindung', *MNU*, 58 (3), 169-175.
- Schwarz, P. & Lutz, B. (2004). Kreativer Chemieunterricht. Mikrochemische Experimente in der Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 15 (81), 4-9.
- Schwichow, M., Zimmerman, C., Croker, S. & Härtig, H. (2016). What Students Learn From Hands-On Activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 53 (7), 980-1002.
- Seidel, T., Jurik, V., Häusler, J. & Stubben, S. (2016). Mikro-Umwelten im Klassenverband: Wie sich kognitive und motivational-affektive Schülervoraussetzungen auf die Wahrnehmung und das Verhalten im Fachunterricht auswirken. In N. McElvany, W. Bos, H. G. Holtappels, M. M. Gebauer & F. Schwabe (Hrsg.), *Bedingungen und Effekte guten Unterrichts* (Dortmunder Symposium der Empirischen Bildungsforschung, Bd. 1, S. 65-87). Münster: Waxmann.
- Seidel, T. & Prenzel, M. (2006). Stability of Teaching Patterns in Physics Instruction: Findings from a Video Study. *Learning and Instruction*, 16 (3), 228-240.
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmele, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M. & Schwindt, K. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52 (6), 799-821.
- Seidel, T., Prenzel, M., Wittwer, J. & Schwindt, K. (2007). Unterricht in den Naturwissenschaften. In M. Prenzel, C. Artelt, J. Baumert, W. Blum, M. Hammann & E. Klieme (Hrsg.), *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie* (S. 147-179). Münster: Waxmann.

- Senkbeil, M., Drechsel, B. & Schöps, K. (2007). Schulische Rahmenbedingungen und Lerngelegenheiten für die Naturwissenschaften. In M. Prenzel, C. Artelt, J. Baumert, W. Blum, M. Hammann & E. Klieme (Hrsg.), *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie* (S. 181-201). Münster: Waxmann.
- Singh, M. M. & Szafran, Z. (2000). Chemie im Mikromaßstab. Labortechnik mit Zukunft. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 5 (49), 7-11.
- Singh, M. M., Szafran, Z. & Pike, R. M. (1999). Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies. *Journal of Chemical Education*, 76 (12), 1684-1686.
- Solomon, J. & Thomas, J. (1999). Science Education for the Public Understanding of Science. *Studies in Science Education*, 33, 61-90.
- Sommer, K. & Pfeifer, P. (2018). Ziele des Chemieunterrichts und Chemiedidaktische Leitlinien. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (S. 139-174). Seelze: Aulis.
- Stamer, I., Kubsch, M., Thiele, M., Höffler, T., Schwarzer, S. & Parchmann, I. (2019). Scientists, their work, and how others perceive them: Self-perceptions of scientists and students' stereotypes. *Research in Subject-matter Teaching and Learning*, 2, 85-101.
- Szafran, Z., Pike, R. M. & Singh, M. M. (1991). *Microscale Inorganic Chemistry: A Comprehensive Laboratory Experience*. New York: Wiley.
- Tashakkori, A. & Teddlie, C. (2010). *Sage Handbook of mixed methods in social & behavioral research* (2. Aufl.). Thousand Oaks, California: Sage.
- Tesch, M. (2005). Das Experiment im Physikunterricht. Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 42). Berlin: Logos.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht - Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51-69.
- Tesfamariam, G. M., Lykknes, A. & Kvittingen, L. (2017). "Named Small but Doing Great": An Investigation of Small-Scale Chemistry Experimentation for Effective Undergraduate Practical Work. *Int. Journal of Science and Math. Education*, 15 (3), 393-410.

- Vorst, H. v., Fechner, S. & Sumfleth, E. (2018). Unterscheidung von Kontexten für den Chemieunterricht. Untersuchung des Einflusses möglicher Kontextmerkmale auf das situationale Interesse im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, 167-181.
- Vernaak, I. & Bradley, J. D. (2003). New technologies for effective science education break the cost barrier. Paper presented at The British Educational Research Association Annual Conference. Heriot-Watt Universität: Edinburgh.
- Wagner, L. & Bader, H. J. (2006). Probleme des Chemieunterrichts an Förderschulen. *CHEMKON*, 13 (3), 111-116.
- Wahl, K., Honig, M.-S. & Gravenhorst, L. (1982). *Wissenschaftlichkeit und Interessen: zur Herstellung subjektivitätsorientierter Sozialforschung*. Frankfurt/ Main: Suhrkamp.
- Wahser, I. (2007). Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 73). Berlin: Logos.
- Walpuski, M. (2006). Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 49). Berlin: Logos.
- Welzel, M., Haller, K., Hammelev, D., Koumaras, P. & Niedderer, H. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4 (1), 29-44.
- White, R. W. (1959). Motivation Reconsidered: The Concept of Competence. *Psychological Review*, 66 (5), 297-333.
- Widodo, A. (2004). *Constructivist oriented science classrooms: The learning environment and the teaching and learning process*. Frankfurt/ Main: Peter Lang.
- Wilde, M., Batz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31-45.

- Wilke, H.-J. (1993). Zur Bedeutung des Experiments für den Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 18 (4), 4-7.
- Winkelmann, J. (2015). *Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht*. Berlin: Logos.
- Witte, T., Hanemann, S., Sommerfeld, H., Temmen, K. & Fechner, S. (2019). Selbstbau eines digitalen Low-Cost-Fotometers für den Chemieunterricht. *CHEMKON*, 27. Verfügbar unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ckon.201900026>
- Witzel, A. (1985). Das problemzentrierte Interview. In G. Juttemann (Hrsg.), *Qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 227-255). Weinheim: Beltz.
- Wodzinski, R. (2010). Experimentieren lernen. In H. Köster, F. Hellmich & V. Nordmeier (Hrsg.), *Handbuch Experimentieren* (1. Aufl., S. 153-169). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Wolff, H.-G. & Bacher, J. (2010). Hauptkomponentenanalyse und explorative Faktorenanalyse. In C. Wolf (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 333-365). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Woolnough, B. E. (1998). Authentic science in schools, to develop personal knowledge. In J. Wellington (Hrsg.), *Practical Work in School Science: Which Way Now?* (S. 109-125). London: Routledge.
- Zimmermann, B. J. (2000). Self-Efficacy: An Essential Motive to Learn. *Contemporary Educational Psychology*, 25 (1), 82-91.

9 | **Abbildungsverzeichnis**

| | |
|--|-----|
| <i>Abbildung 1.</i> Exemplarische Auswahl alternativer Experimentiermaterialien. | 2 |
| <i>Abbildung 2.</i> Einflussfaktoren auf die Qualität von Unterricht: Das Angebots-Nutzungsmodell von Unterricht nach Helmke (2009). | 22 |
| <i>Abbildung 3.</i> Zusammenhänge zwischen der Selbstbestimmungstheorie, der Person-Gegenstands-Theorie des Interesses und fachdidaktischen Anforderungen an ein Experiment im Chemieunterricht (farbige Markierung). | 39 |
| <i>Abbildung 4.</i> Grafische Darstellung des zentralen Forschungsinteresses der Arbeit. | 43 |
| <i>Abbildung 5.</i> Schematische Darstellung des Mixed-Method-Designs der Gesamtuntersuchung. | 45 |
| <i>Abbildung 6.</i> Positive Einflüsse alternativer Experimentiermaterialien auf organisatorische Anforderungen an Experimente im Chemieunterricht. | 61 |
| <i>Abbildung 7.</i> Organisatorische Schwierigkeiten beim Einsatz alternativer Experimentiermaterialien im Chemieunterricht. | 62 |
| <i>Abbildung 8.</i> Design und Methoden zur Erhebung der Schülerperspektive..... | 98 |
| <i>Abbildung 9.</i> Vereinfachte Destillationsapparatur mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (rechts). | 108 |
| <i>Abbildung 10.</i> Versuchsaufbau einer Elektrolyse mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (rechts). | 109 |
| <i>Abbildung 11.</i> Versuchsaufbau zur Herstellung eines Rotkohllindikators und dessen Anwendung mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (rechts). | 110 |
| <i>Abbildung 12.</i> Gasentwickler zur Entwicklung und zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise rechts mit alternativem Experimentiermaterial nach Obendrauf (1996). | 111 |
| <i>Abbildung 13.</i> Versuchsaufbau einer Titration mit klassischem Labormaterial (links) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (rechts). | 113 |
| <i>Abbildung 14.</i> Ergebnis der Varianzanalyse zur wahrgenommenen Herausforderung auf Experimentebene in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial. | 119 |

Abbildung 15. Ergebnis der Varianzanalyse zum wahrgenommenen Kompetenzerleben auf Experimentebene in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial. 124

Abbildung 16. Ergebnis der Varianzanalyse zum wahrgenommenen Interesse/ Vergnügen auf Experimentebene in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial. 125

Abbildung 17. Ergebnisdarstellung der offenen Fragen auf Klassenebene: Positive und negative Aspekte beim Experimentieren mit klassischem Labormaterial (KL) beziehungsweise alternativem Experimentiermaterial (LC). 133

10 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1 <i>Eingesetzte Chemikalienmengen bei analytischen Experimentiertechniken</i> | 8 |
| Tabelle 2 <i>Alternative Materialpools für das Experimentieren im Chemieunterricht.....</i> | 11 |
| Tabelle 3 <i>Fachdidaktische Vorteile alternativer Experimentiermaterialien.....</i> | 15 |
| Tabelle 4 <i>Ziele des experimentellen Chemieunterrichts.....</i> | 26 |
| Tabelle 5 <i>Fachdidaktische Anforderungen an Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht</i> | 29 |
| Tabelle 6 <i>Ergebnis des Expertenratings: fachdidaktische Anforderungen an ein Schulexperiment, zu denen ein Zusammenhang zum Experimentiermaterial angenommen wird.....</i> | 31 |
| Tabelle 7 <i>Stichprobenbeschreibung Studie I: Lehrkräfte.....</i> | 47 |
| Tabelle 8 <i>Inhaltsanalytische Auswertungskriterien der Interviews aus Studie I am Beispiel des Selektionskriteriums 'Arbeitssicherheit'</i> | 53 |
| Tabelle 9 <i>Materialeigenschaften, in deren Ausprägung sich alternative Experimentiermaterialien und klassische Labormaterialien voneinander unterscheiden</i> | 55 |
| Tabelle 10 <i>Ergebnisdarstellung Lehrerinterviews: Einfluss des Experimentiermaterials auf organisatorische Anforderungen an ein Experiment</i> | 58 |
| Tabelle 11 <i>Ergebnisdarstellung Lehrerinterviews: Einfluss des Experimentiermaterials auf experimentelle und affektive Anforderungen an ein Experiment</i> | 69 |
| Tabelle 12 <i>Ergebnisdarstellung Lehrerinterviews: Einfluss des Experimentiermaterials auf Ziele experimentellen Arbeitens</i> | 71 |
| Tabelle 13 <i>Aus Studie I generierte Hypothesen als Ausgangspunkt für Studie II</i> | 95 |
| Tabelle 14 <i>Definition und Ursprung der erhobenen Konstrukte zur Schülerwahrnehmung einer Experimentiersituation</i> | 103 |
| Tabelle 15 <i>Stichprobenbeschreibung für Untersuchungsgruppe 1 und 2 (quantitative Datenerhebung und offene Fragen)</i> | 114 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 16 <i>Stichprobenbeschreibung für Untersuchungsgruppe 3 (rein qualitative Datenerhebung)</i> | 114 |
| Tabelle 17 <i>Skalen-Reliabilität der in der Haupterhebung erhobenen Konstrukte</i> | 116 |
| Tabelle 18 <i>Hauptkomponentenanalyse aller verwendeten Items</i> | 117 |
| Tabelle 19 <i>Varianzanalyse zur wahrgenommenen Herausforderung beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial</i> | 118 |
| Tabelle 20 <i>Varianzanalyse zur wahrgenommenen Beobachtbarkeit qualitativer Schülerexperimente in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial</i> | 120 |
| Tabelle 21 <i>Varianzanalyse zum wahrgenommenen Autonomieerleben beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial</i> | 121 |
| Tabelle 22 <i>Varianzanalyse zur wahrgenommenen Anspannung/ dem wahrgenommenen Druck beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial</i> | 122 |
| Tabelle 23 <i>Varianzanalyse zum wahrgenommenen Kompetenzerleben beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial</i> | 123 |
| Tabelle 24 <i>Varianzanalyse zum wahrgenommenen Interesse/ Vergnügen beim Experimentieren in Abhängigkeit vom Experimentiermaterial</i> | 124 |
| Tabelle 25 <i>Varianzanalyse bei einem Vergleich des wahrgenommenen Interesses/ Vergnügens beim Experimentieren mit (umfunktioniertem) Alltagsmaterial (EI- III) beziehungsweise mit der Medizintechnik (EIV- V), jeweils im Vergleich zum Experimentieren mit klassischem Labormaterial</i> | 126 |
| Tabelle 26 <i>Zusammenfassung der Ergebnisse der Hypothesentests</i> | 127 |
| Tabelle 27 <i>Ergebnisdarstellung Schülerinterviews: Einfluss des Experimentiermaterials auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment</i> | 130 |
| Tabelle 28 <i>t-Test zum Zusammenhang zwischen den Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren und Materialpräferenzen der SchülerInnen</i> | 150 |
| Tabelle 29 <i>t-Test zum Zusammenhang zwischen dem Interesse an Chemie sowie dem Interesse am Experimentieren und Materialpräferenzen der SchülerInnen</i> | 155 |

11 Anhang

Der Anhang besteht aus den in Studie I und II jeweils eingesetzten Interviewleitfäden (Anhang A), den in Studie II eingesetzten Experimentieranleitungen der Haupterhebung inklusive der Skala zur wahrgenommenen Beobachtbarkeit (Anhang B) und den Fragebögen aus der Begleit- und Haupterhebung (Anhang C). In Anhang D sind außerdem die in Studie II gebildeten Kategoriensysteme aus den Schülerinterviews abgebildet, wobei hier der Einfluss des Experimentiermaterials auf die Eigenschaften alternativer und klassischer Experimentiermaterialien für jedes der fünf betrachteten Experimente EI- EV differenziert dargestellt wird.

Anhang A – Interviewleitfäden

Interviewleitfaden Studie I – Perspektive der Lehrkräfte

| Interview-Phase | Inhalt der Interviewphase/ Fragen an die Lehrkraft |
|---|---|
| I Gesprächs- grundlage | <ul style="list-style-type: none"> – Aufklärung und Einverständnis über die Aufnahme des Gesprächs – Themenvorstellung und Erläuterungen zum Ziel der Untersuchung – Bitte um eine kurze Vorstellung der interviewten Lehrkraft (Dauer des Schuldienstes, Schulform, Fächerkombination, Häufigkeit von Experimenten im Chemieunterricht) – <i>Nennen Sie stichpunktartig Kriterien, nach denen Sie ein Schulexperiment für Ihren Unterricht auswählen.</i> – <i>Was verstehen Sie unter „alternativen Experimentiermaterialien“?</i> – Der Lehrkraft wird anschließend das Anschauungsmaterial gezeigt, um den Bezugsrahmen der Untersuchung zu erläutern und zu konkretisieren. |
| II Einleitung | <ul style="list-style-type: none"> – <i>Aus welchen Gründen greifen Sie, wenn überhaupt, auf alternatives Experimentiermaterial zurück?</i> – <i>Welche Vorteile sehen Sie, Ihrer Erfahrung nach, beim Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien im Vergleich zu klassischem Labormaterial?</i> – <i>Gibt es Situationen oder Gründe, aufgrund derer Sie bewusst nicht auf alternatives Experimentiermaterial zurückgreifen? Falls ja, wieso?</i> – <i>Inwiefern sehen Sie Bedarf an Experimentiermaterialien, die auf alternativem Experimentiermaterial aufbauen?</i> |
| III Theoretische Unter- mauerung | <ul style="list-style-type: none"> – Die von der Lehrkraft in Phase I genannten Kriterien werden nacheinander unter folgender Fragestellung aufgearbeitet: <i>Inwiefern sehen Sie einen Einfluss alternativer Experimentiermaterialien bzw. klassischer Labormaterialien auf [hier folgt je eine der von der Lehrkraft genannten Anforderungen an ein Schulexperiment]? Bitte begründen Sie.</i> – Von der Lehrkraft nicht selbstständig genannte Anforderungen an ein Schulexperiment werden im Anschluss unter derselben Fragestellung aufgearbeitet, z.B.: <i>Inwiefern sehen Sie für Schülerinnen und Schüler Vor- oder Nachteile in der Durchschaubarkeit von alternativen Experimentiermaterialien im Vergleich zu klassischem Labormaterial?</i> |
| IV Interne Validierung | <ul style="list-style-type: none"> – <i>Halten Sie alternative Experimentiermaterialien für eine tatsächliche Alternative zu klassischem Labormaterial? Bitte begründen Sie Ihre Meinung kurz.</i> |
| V Gesprächs- ende | <ul style="list-style-type: none"> – Raum für zusätzliche Anmerkungen seitens der Lehrkraft – Dank und Verabschiedung |

Interviewleitfaden Studie II – Perspektive der SchülerInnen

| Interview-Phase | Inhalt der Interviewphase/ Fragen an die SchülerInnen |
|---|--|
| I Gesprächs- grundlage | <ul style="list-style-type: none"> – Themenvorstellung und Erläuterungen zum Ziel der Untersuchung – Hinweis auf die Rolle der SchülerInnen als „Produkt-Tester“, deren Meinung zu den Experimentiermaterialien A und B im Vergleich benötigt wird. |
| II Einleitung | <ul style="list-style-type: none"> – <i>Wie haben euch die Experimente von heute gefallen? Bitte begründet eure Meinung kurz.</i> |
| III Theoretische Unter- mauerung | <ul style="list-style-type: none"> – <i>Welche Schwierigkeiten haben sich beim Experimentieren mit Material A ergeben?</i> – <i>Gibt es etwas, das beim Experimentieren mit Material A besser war als beim Experimentieren mit Material B? Wenn ja, woran liegt das?</i> – <i>Welche Schwierigkeiten haben sich beim Experimentieren mit Material B ergeben?</i> – <i>Gibt es etwas, das beim Experimentieren mit Material B besser war als beim Experimentieren mit Material A? Wenn ja, woran liegt das?</i> – Von den SchülerInnen nicht selbstständig thematisierte Anforderungen an ein Schulexperiment werden im Anschluss unter derselben Fragestellung aufgearbeitet, z.B.: <i>Wenn ihr Material A und B miteinander vergleicht, inwiefern konntet ihr Unterschiede in der Beobachtbarkeit beider Experiment-Varianten feststellen?</i> |
| IV Interne Validierung | <ul style="list-style-type: none"> – <i>Wenn ihr das Experiment noch einmal machen müsstet und euch entscheiden müsstet für das eine oder das andere Material: Welches Material würdet ihr wählen? Bitte begründet eure Meinung kurz.</i> – <i>Inwiefern macht es für euch einen Unterschied, dass Material A Material ist, das ihr aus dem Chemieunterricht kennt und Material B Material ist, das ihr eher aus euerm Alltag (bzw. bei E IV, EV aus der Medizin) kennt?</i> |
| V Gesprächs- ende | <ul style="list-style-type: none"> – Dank und Verabschiedung |









Anhang B: Experimentieranleitungen der Hauptuntersuchung (Studie II)

E I:

Destillation eines Alkohol-Wasser-Gemisches mit alternativem Experimentiermaterial

**Gruppe
A**

Experiment

| Sicherheitshinweise | | | | | | |
|---|--|--|---|--|---|--|
| GHS |  Schutzbrille |  Schutzhandschuhe |  Abzug |  geschlossenes System |  Lüftungsmaßnahmen |  Brandschutzmaßnahmen |
|   | x | | | | | |

Rückgewinnung von Alkohol durch Destillation

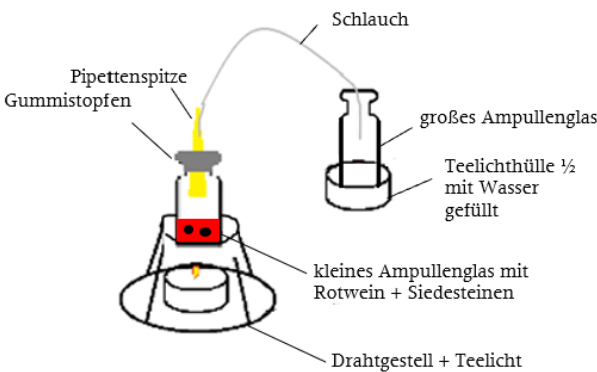
Info: Die **Destillation** ist ein **Verfahren zur Stofftrennung**, mit dem man flüssige Stoffkomponenten eines Stoffgemisches aufgrund ihrer **unterschiedlichen Siedepunkte** voneinander trennen kann. So hat Alkohol (hier genauer: Ethanol) einen Siedepunkt von 78 °C, Wasser wiederum hat einen Siedepunkt von 100 °C.

Materialien

- Ampullengläser (klein + groß)
- Pipettenspitze
- Schlauch
- Gummistopfen
- Teelicht
- Drahtgestell
- 2 Teelichthüllen
- Siedesteine
- Plastikpipette
- Stabfeuerzeug

Chemikalien

- Rotwein
- Leitungswasser



Durchführung

- Baut den Versuch entsprechend der Skizze auf.
- Erhitzt **3 ml Rotwein** im kleineren Ampullenglas solange, bis ihr ca. 0,5 cm hoch eine klare Flüssigkeit im größeren Ampullenglas erhaltet. Achtet darauf, dass keine rote Flüssigkeit in das größere Ampullenglas gelangt.
- Gebt das Produkt aus dem größeren Ampullenglas in die zweite Teelichthülle und führt eine Brennprobe durch.

Entsorgung: Chemikalienreste können über den Abfluss entsorgt werden.

Aufgabe









- Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.

E I:

Destillation eines Alkohol-Wasser-Gemisches mit klassischem Labormaterial

**Gruppe
B**

Experiment

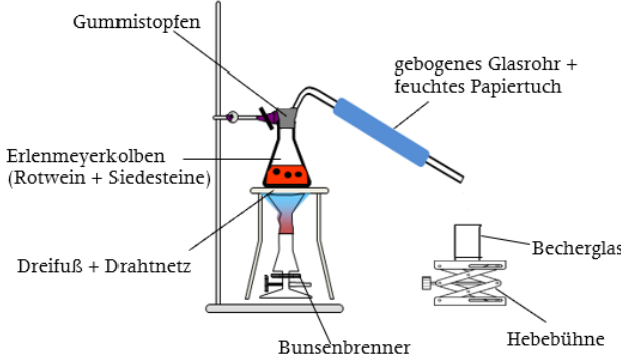
| Sicherheitshinweise | | | | | | |
|---|--|--|---|--|---|--|
| GHS |  Schutzbrille |  Schutzhandschuhe |  Abzug |  geschlossenes System |  Lüftungsmaßnahmen |  Brandschutzmaßnahmen |
|   | x | | | | | |

Rückgewinnung von Alkohol durch Destillation

Info: Die **Destillation** ist ein **Verfahren zur Stofftrennung**, mit dem man flüssige Stoffkomponenten eines Stoffgemisches aufgrund ihrer **unterschiedlichen Siedepunkte** voneinander trennen kann. So hat Alkohol (hier genauer: Ethanol) einen Siedepunkt von 78 °C, Wasser wiederum hat einen Siedepunkt von 100 °C.

Materialien

- Stativ
- Muffe, Klemme
- Hebebühne
- Siedesteine
- Dreifuß + Drahtnetz
- Bunsenbrenner
- Erlenmeyerkolben
- Becherglas
- gebogenes Glasrohr
- durchbohrter Gummistopfen
- feuchtes Papiertuch
- Porzellantiegel
- Stabfeuerzeug



Chemikalien

- Rotwein
- Leitungswasser

Durchführung

- Baut den Versuch entsprechend der Skizze auf.
- Erhitzt **50 ml Rotwein** solange, bis ihr ca. 1 cm hoch eine klare Flüssigkeit im Becherglas erhaltet. Achtet darauf, dass keine rote Flüssigkeit in das Becherglas gelangt.
- Gebt das Produkt aus dem Becherglas in den Porzellantiegel und führt eine Brennprobe durch.

Entsorgung: Chemikalienreste können über den Abfluss entsorgt werden.

Aufgabe

- Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.


E II:

Elektrolyse einer Salzlösung mit alternativem Experimentiermaterial

Gruppe
A

Experiment

Sicherheitshinweise

| GHS | Schutzbrille | Schutzhandschuhe | Abzug | geschlossenes System | Lüftungsmaßnahmen | Brandschutzmaßnahmen |
|---|--------------|------------------|-------|----------------------|-------------------|----------------------|
|  | x | | | | | |

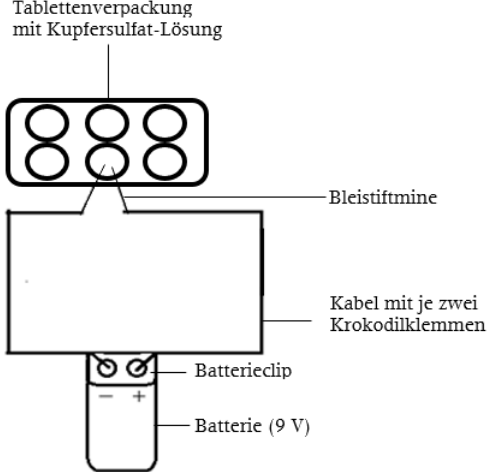
Elektrolyse einer Kupfersulfat-Lösung

Materialien

- 2 Bleistiftminen
- Tablettenverpackung
- Batterie (9 V) + Batterieclip
- 2 Kabel mit je 2 Krokodilklemmen
- Spatel

Chemikalien

- Kupfersulfat: CuSO_4 (s)
- destilliertes Wasser (l)



Durchführung

- Geht eine Spatelspitze Kupfersulfat in eine Vertiefung der Tablettenverpackung und löst das Kupfersulfat in etwas destilliertem Wasser.
- Baut den Versuch entsprechend der Skizze auf.
- Haltet die Bleistiftminen für einige Minuten in die Kupfersulfat-Lösung und beobachtet die Vorgänge an den Minen. Diese dürfen sich dabei nicht gegenseitig berühren!

Entsorgung: Die Kupfersulfat-Lösung wird in einem gesonderten Abfallbehälter am Pult gesammelt.

Aufgabe









- Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.

E II:

Elektrolyse einer Salzlösung mit klassischem Labormaterial

**Gruppe
B**

Experiment

| Sicherheitshinweise | | | | | | |
|---|--|--|---|--|---|--|
| GHS |  Schutzbrille |  Schutzhandschuhe |  Abzug |  geschlossenes System |  Lüftungsmaßnahmen |  Brandschutzmaßnahmen |
|   | x | | | | | |

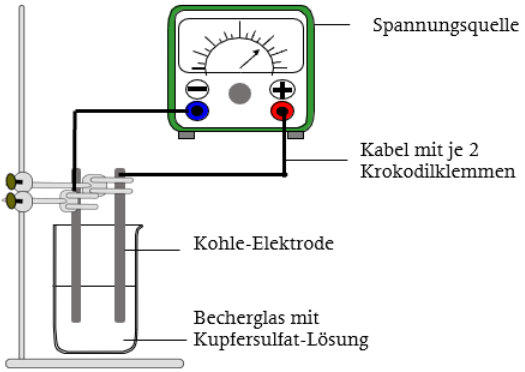
Elektrolyse einer Kupfersulfat-Lösung

Materialien

- 2 Kohle-Elektroden
- Becherglas
- Spannungsquelle
- 2 Kabel
- 2 Krokodilklemmen
- Spatel
- Stativ
- 2 Muffen+ 2 Klemmen

Chemikalien

- Kupfersulfat: CuSO_4 (s)
- destilliertes Wasser (l)



Durchführung

- Gebt 10 Spatelspitzen Kupfersulfat in das Becherglas und löst das Kupfersulfat in 50 ml destilliertem Wasser.
- Baut den Versuch entsprechend der Skizze auf. Die Kohle-Elektroden dürfen sich dabei nicht gegenseitig berühren!
- Schaltet die Spannungsquelle ein und stellt eine Spannung von 10 Volt ein. Beobachtet anschließend für einige Minuten die Vorgänge an den Kohle-Elektroden.

Entsorgung: Die Kupfersulfat-Lösung wird in einem gesonderten Abfallbehälter am Pult gesammelt.

Aufgabe

- Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.


E III:

pH-Wert-Bestimmung mit alternativem Experimentiermaterial

Gruppe
A

Experiment

Sicherheitshinweise

| GHS | Schutzbrille | Schutzhandschuhe | Abzug | geschlossenes System | Lüftungsmaßnahmen | Brandschutzmaßnahmen |
|---|--------------|------------------|-------|----------------------|-------------------|----------------------|
|  | x | | | | | |

Rotkohlextrakt – ein natürlicher Indikator!

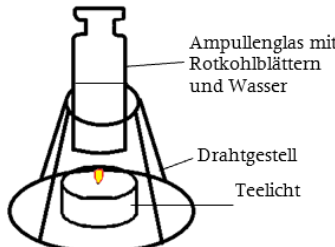
Materialien

- Ampullenglas
- Tablettenverpackung
- Teelicht
- Drahtgestell
- Pipette
- Spatel
- Schere

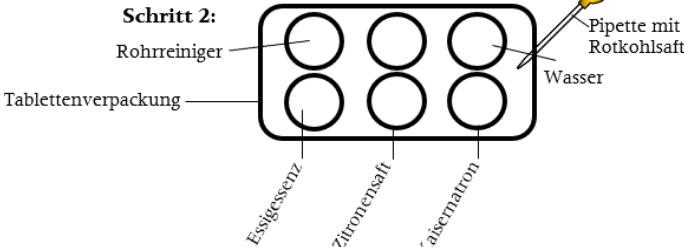
Chemikalien

- Rotkohlblatt
- Essigessenz
- Zitronensaft
- Kaisermatron
- Rohrreiniger
- Wasser

Schritt 1:



Schritt 2:



Durchführung

- Zerkleinert das Rotkohlblatt mit der Schere, gibt es in das Ampullenglas und füllt ca. 3 cm hoch mit Wasser auf.
- **Während das Wasser im Ampullenglas zum Sieden gebracht wird,** gibt in die Vertiefungen der Tablettenverpackung jeweils eine kleine Menge der bereitgestellten Proben. Kaisermatron (eine Spatelspitze) müsst ihr anschließend in etwas Wasser lösen.
- Gebt anschließend 2 Tropfen des gekochten Rotkohlsaftes aus Schritt 1 zu jeder Probe und notiert eure Beobachtungen im Versuchsprotokoll.

Entsorgung: Die Chemikalienreste können über den Abfluss entsorgt werden.

Aufgabe

- Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.

E III: pH-Wert-Bestimmung mit klassischem Labormaterial

Experiment

Gruppe
B

Sicherheitshinweise

| GHS |  Schutzbrille |  Schutzhandschuhe |  Abzug |  geschlossenes System |  Lüftungsmaßnahmen |  Brandschutzmaßnahmen |
|---|--|--|---|--|---|--|
|  | x | | | | | |

Rotkohlextrakt – ein natürlicher Indikator!

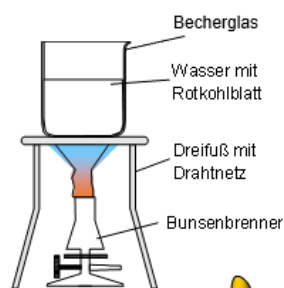
Materialien

- Becherglas
- 5 Reagenzgläser
- Reagenzglasständer
- Bunsenbrenner
- Dreifuß mit Drahtnetz
- Pipette
- Spatel
- Schere

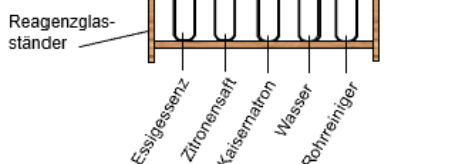
Chemikalien

- Rotkohlblatt
- Essigessenz
- Zitronensaft
- Kaiseratron
- Rohrreiniger
- Wasser

Schritt 1:



Schritt 2:



Durchführung

- Zerkleinert das Rotkohlblatt mit der Schere, gebt es in das Becherglas und füllt mit ca. 100 ml Wasser auf.
- **Während das Wasser im Becherglas zum Sieden gebracht wird,** gebt in je ein Reagenzglas ca. 2 cm hoch eine der bereitgestellten Proben. Kaiseratron (2-3 Spatelspitzen) müsst ihr anschließend in etwas Wasser lösen.
- Gebt ca. 2 cm hoch gekochten Rotkohlsaft zu jeder Probe und notiert eure Beobachtungen im Versuchsprotokoll.

Entsorgung: Chemikalienreste können über den Abfluss entsorgt werden.

Aufgabe

- Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.

E IV:

Gasentwicklung und -nachweis mit alternativem Experimentiermaterial

Gruppe
A

Experiment

Sicherheitshinweise

| GHS | Schutzbrille | Schutzhandschuhe | Abzug | geschlossenes System | Lüftungsmaßnahmen | Brandschutzmaßnahmen |
|-----|--------------|------------------|-------|----------------------|-------------------|----------------------|
| | x | | | | | |

Welches Gas entsteht beim Lösen einer Brausetablette in Wasser?

Materialien

- Spritzen (5 ml, 60 ml)
- Gummistopfen + 2 Kanülen
- 2 Ampullengläser
- Reagenzglasständer
- Reagenzglas
- Kanüle

Chemikalien

- Brausetablette
- Kalkwasser
- Wasser

Schritt 1 Schritt 2

Spritze (5 ml) mit Wasser Spritze (60 ml) leer

Gummistopfen + 2 Kanülen Spritze (60 ml) mit Gas

Reagenzglasständer Reagenzglas mit $\frac{1}{4}$ Brausetablette Ampullenglas mit Kalkwasser

Durchführung

- **Zerteilt eine Brausetablette in 4 gleich kleine Stücke.** Gebt eines der Stücke in das Reagenzglas und setzt anschließend den Gummistopfen mit beiden Kanülen auf das Reagenzglas.
- Gebt etwas Leitungswasser in eines der Ampullengläser, zieht die 5 ml Spritze mit Leitungswasser auf und baut den Versuch entsprechend der Skizze auf.
- Gebt anschließend das Wasser aus der kleinen Spritze in das Reagenzglas. **Zieht das entstehende Gas langsam mit der großen Spritze auf.**
- Lest an der Spritze die aufgezugene Menge Gas ab und **notiert** den Wert im Versuchsprotokoll.
- Zieht die Spritze mit dem aufgefangenen Gas von der Kanüle im Gummistopfen ab, setzt eine neue Kanüle auf die Spritze und leitet das aufgefangene Gas anschließend in das Kalkwasser ein. **Die Kanülen im Gummistopfen werden nicht entfernt!**

Entsorgung: Die Chemikalienreste können in den Abfluss gegeben werden.

Aufgabe: Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.



E IV:

Gasentwicklung und -nachweis mit klassischem Labormaterial

Experiment

Gruppe
B

Sicherheitshinweise

| GHS |  Schutzbrille |  Schutzhandschuhe |  Abzug |  geschlossenes System |  Lüftungsmaßnahmen |  Brandschutzmaßnahmen |
|---|--|--|---|--|---|--|
|   | x | | | | | |

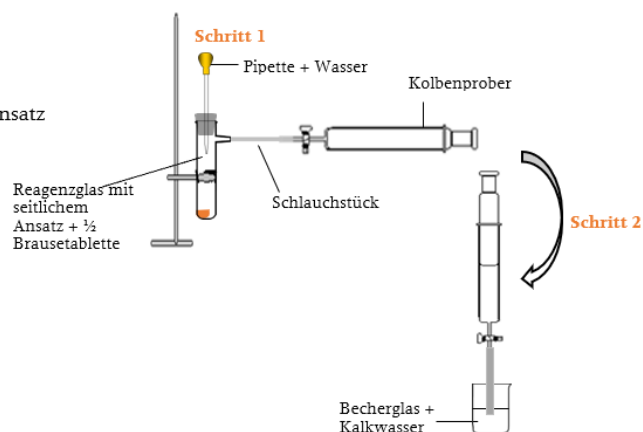
Welches Gas entsteht beim Lösen einer Brausetablette in Wasser?

Materialien

- Reagenzglas mit seitlichem Ansatz
- durchbohrter Gummistopfen
- Schlauchstück
- Pipette
- Kolbenprober
- 2 Bechergläser
- Stativ
- Muffe, Klemme

Chemikalien

- Brausetablette
- Kalkwasser
- Wasser



Durchführung

1. **Zerteilt eine Brausetablette in 2 gleich kleine Stücke.** Gebt eine Hälfte in das Reagenzglas und setzt anschließend den Gummistopfen auf das Reagenzglas.
2. Gebt etwas Leitungswasser in eines der Bechergläser, zieht die Pipette mit Leitungswasser auf und baut den Versuch entsprechend der Skizze auf.
3. Öffnet **zunächst** den Hahn des Kolbenprobers. Gebt **anschließend** das Wasser aus der Pipette in das Reagenzglas. **Zieht das entstehende Gas langsam mit dem Kolbenprober auf.**
4. Lest am Kolbenprober die entstandene Menge an Gas ab und **notiert** den Wert im Versuchsprotokoll.
5. Zieht den Kolbenprober und das Schlauchstück vom Reagenzglas ab und leitet das aufgefangene Gas anschließend über das Schlauchstück in das Kalkwasser ein.

Entsorgung: Die Chemikalienreste können in den Abfluss gegeben werden.

Aufgabe


- Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.

E V: Die Titration mit alternativem Experimentiermaterial

Gruppe
A

Experiment

Sicherheitshinweise

| GHS | Schutzbrille | Schutzhandschuhe | Abzug | geschlossenes System | Lüftungsmaßnahmen | Brandschutzmaßnahmen |
|---|--------------|------------------|-------|----------------------|-------------------|----------------------|
|  | x | | | | | |

Titration von Salzsäure mit Natronlauge

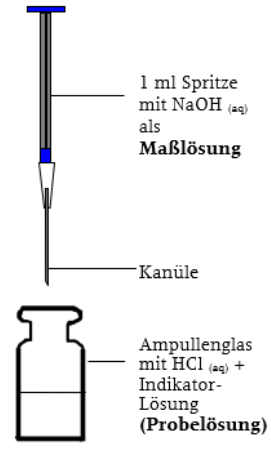
Die Konzentration einer Lösung bestimmt maßgeblich ihre Eigenschaften, z.B. ob eine Lösung stark oder schwach sauer oder alkalisch ist. Damit chemische Reaktionen stattfinden können, müssen Lösungen oftmals eine bestimmte Konzentration haben. Die **Titration** ist eine **klassische Arbeitsweise in der Chemie**, mit der über den Verbrauch einer **Maßlösung** bekannter Konzentration die wiederum unbekannte Konzentration einer **Probelösung** bestimmt werden kann.

Materialien

- 2 Spritzen (1 ml)
- 2 Kanülen
- Ampullenglas

Chemikalien

- Natronlauge (NaOH_{aq}) mit der Konzentration $c = 1 \text{ mol/l}$
- Salzsäure (HCl_{aq}) mit unbekannter Konzentration $c = ?$
- Indikator-Lösung (Bromthymolblau)



1 ml Spritze mit $\text{NaOH}_{\text{(aq)}}$ als **Maßlösung**

Kanüle

Ampullenglas mit $\text{HCl}_{\text{(aq)}}$ + Indikator-Lösung (**Probelösung**)

Durchführung

- Setzt eine Kanüle auf eine der Spritzen und füllt genau 1 ml Salzsäurelösung in das Ampullenglas. Gebt anschließend einen Tropfen Indikator-Lösung hinzu.
- Setzt die zweite Kanüle auf die zweite Spritze, saugt exakt 1 ml Natronlauge auf und gebt diese tropfenweise zur Probelösung hinzu. Schwenkt das Ampullenglas nach jedem Tropfen vorsichtig. **Notiert eure Beobachtungen im Versuchsprotokoll.**
- Die Titration wird beendet, sobald sich die Farbe der Lösung im Ampullenglas ändert. Lest das bis dahin verbrauchte Volumen an Natronlauge an der Spritze ab und **notiert** den Wert im Versuchsprotokoll.
- Wiederholt die Titration, um einen genaueren Messwert für den Verbrauch an Natronlauge zu erhalten.

Entsorgung: Der Inhalt des Ampullenglases kann über den Abfluss entsorgt werden.


Aufgabe: Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.

E V: Die Titration mit klassischem Labormaterial

**Gruppe
B**

Experiment

Sicherheitshinweise

| GHS | Schutzbrille | Schutzhandschuhe | Abzug | geschlossenes System | Lüftungsmaßnahmen | Brandschutzmaßnahmen |
|---|--------------|------------------|-------|----------------------|-------------------|----------------------|
|  | x | | | | | |

Titration von Salzsäure mit Natronlauge

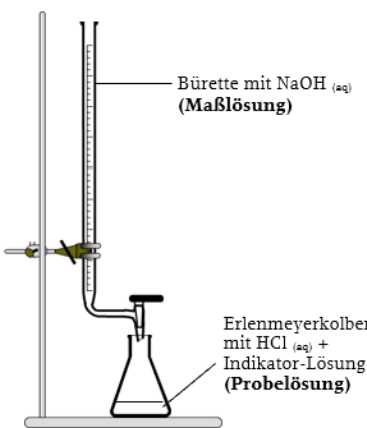
Die Konzentration einer Lösung bestimmt maßgeblich ihre Eigenschaften, z.B. ob eine Lösung stark oder schwach sauer oder alkalisch ist. Damit chemische Reaktionen stattfinden können, müssen Lösungen oftmals eine bestimmte Konzentration haben. Die **Titration** ist eine **klassische Arbeitsweise in der Chemie**, mit der über den Verbrauch einer **Maßlösung** bekannter Konzentration die wiederum unbekannte Konzentration einer **Probelösung** bestimmt werden kann.

Materialien

- Bürette
- Erlenmeyerkolben
- Messzylinder
- Trichter
- Stativ, Muffe, Klemme

Chemikalien

- Natronlauge (NaOH_{aq}) $c = 1 \text{ mol/l}$
- Salzsäure (HCl_{aq}) unbekannter Konzentration $c = ?$
- Bromthymolblau (Indikator-Lösung)



Bürette mit $\text{NaOH}_{\text{(aq)}}$
(Maßlösung)

Erlenmeyerkolben
mit $\text{HCl}_{\text{(aq)}}$ +
Indikator-Lösung
(Probelösung)

Durchführung

- Baut den Versuch entsprechend der Skizze auf. Nutzt den Trichter, um die Bürette **genau** bis zum Nullpunkt mit Natronlauge zu befüllen. Achtet darauf, dass der Hahn der Bürette dabei geschlossen ist!
- Füllt anschließend den Erlenmeyerkolben mit **exakt** 20 ml Salzsäure und gibt 2 Tropfen Indikator-Lösung hinzu.
- Gebt die Natronlauge **tropfenweise** zu der Probelösung und schwenkt den Erlenmeyerkolben nach jedem Tropfen. **Notiert eure Beobachtungen auf dem Versuchsprotokoll.**
- Die Titration wird beendet, sobald sich die Farbe der Lösung im Erlenmeyerkolben ändert. Lest das bis dahin verbrauchte Volumen an Natronlauge an der Bürette ab und **notiert** den Wert im Versuchsprotokoll.
- Wiederholt die Titration, um einen möglichst genauen Wert für den Verbrauch an Natronlauge zu erhalten.


Entsorgung: Der Inhalt des Erlenmeyerkolbens kann über den Abfluss entsorgt werden.

Aufgabe: Bearbeitet das Versuchsprotokoll und den Fragebogen.

Anhang C: Fragebögen aus Studie II

Fragebogen aus der Begleiterhebung (Studie II) – Seite 1 des Fragebogens



Auf eine Darstellung des Fragebogenabschnitts zur Erhebung der soziodemographischen Daten wird hier verzichtet.

| EvaSys | Begleiterhebung | Electric Paper | | | | |
|---|--|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Goethe-Universität Frankfurt/ Main | Institut für Didaktik der Chemie |  | | | | |
| Bitte so markieren: <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> So markierst du deine Antwort! | | | | | | |
| Korrektur: <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> So markierst du, falls du deine erste Antwort korrigieren möchtest! | | | | | | |
| 1. Liebe Schülerin, lieber Schüler, | | | | | | |
| mit diesem Fragebogen möchten wir wissen, wie groß dein Interesse am Fach Chemie und am Experimentieren ist. | | | | | | |
| Hierbei handelt es sich nicht um einen Test! Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten, sondern es geht um deine persönliche Meinung! Dein Lehrer/ deine Lehrerin wird nicht erfahren, wie du diesen Fragebogen beantwortet hast! | | | | | | |
| 2. Wir würden gerne wissen, wie sehr du dich für Chemie und für das Experimentieren im Chemieunterricht interessierst. Gib bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen: | | | | | | |
| | stimmt gar nicht | stimmt wenig | stimmt teilweise | stimmt eher | stimmt völlig | |
| 2.1 | Im Chemieunterricht fühle ich mich wohl. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.2 | Der Chemieunterricht macht mir Spaß. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. | | | | | | |
| 3.1 | Experimentieren gehört <i>nicht</i> zu meinen Lieblingsbeschäftigungen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2 | Ich finde es gut, wenn ein Experiment von mir wirkliches Nachdenken verlangt. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.3 | Ich fühle mich zufrieden, wenn ich ein kompliziertes Problem endlich mit Hilfe eines Experiments verstehe. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4 | Ich finde es gut, wenn ich mich intensiv mit einem Experiment beschäftigen kann. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.5 | Ich mag es, vorgegebene Experimente selbstständig durchzuführen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6 | Ich finde es gut, wenn ich Experimente selbst ausdenken und durchführen kann. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.7 | Ich mag Experimente, die der Lehrer durchführt und die ich beobachten kann. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.8 | Mir macht es Spaß selbstständig Experimente zu vorgegebenen Problemen zu suchen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.9 | Ich finde das Experimentieren meist interessant. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

2.
Interesse an
Chemie

3.
Interesse am
Experimentieren

Fragebogen aus der Begleiterhebung (Studie II) – Seite 2 des Fragebogens

| | | | | | | |
|---|---|--------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| EvaSys | Begleiterhebung | |  | | | |
| <p>4. Kreuze auch hier die Antwort an, die am ehesten auf dich zutrifft:</p> | | | | | | |
| | | <i>stimmt gar nicht</i> | <i>stimmt wenig</i> | <i>stimmt teilweise</i> | <i>stimmt eher</i> | <i>stimmt völlig</i> |
| 4.1 | Selbst wenn in der Experimentieranleitung für das Experiment keine Zeichnungen enthalten sind, glaube ich, dass ich das Experiment schaffe. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2 | Selbst wenn das Experiment gefährlich ist, glaube ich, dass ich es schaffe. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3 | Selbst wenn der Lehrer das Experiment nicht vorher vorführt, schaffe ich es. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.4 | Obwohl man für das Experiment viele Geräte benötigt, glaube ich, dass mir das Experiment gelingt. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.5 | Auch wenn ich besonders genau arbeiten muss, gelingt mir das Experiment. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.6 | Ich bin davon überzeugt, dass ich das Experiment auch dann schaffe, wenn ich dabei ein gefährliches Gerät benutzen muss. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.7 | Ich schaffe das Experiment sogar dann, wenn ich während des Experiments nicht von einem Lehrer unterstützt werde. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.8 | Obwohl ich wenig Zeit zum Experimentieren bekomme, schaffe ich es. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.9 | Ich schaffe das Experiment, auch wenn ich dabei nervös bin. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.10 | Ich bin davon überzeugt, dass ich im Allgemeinen sehr gut experimentieren kann. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <p>Vielen Dank für deine Mitarbeit!</p> | | | | | | |
|  | | | | | | |

4. Selbstwirksamkeitserwartungen beim Experimentieren

Fragebogen aus der Haupterhebung (Studie II) – Seite 1 des Fragebogens

| | | |
|------------------------------------|----------------------------------|--|
| EvaSys | Haupterhebung | |
| Goethe-Universität Frankfurt/ Main | Institut für Didaktik der Chemie | |

Bitte so markieren: So markierst du deine Antwort!

Korrektur: So markierst du, falls du deine erste Antwort korrigieren möchtest!

1. Liebe Schülerin, lieber Schüler,

mit diesem Fragebogen möchten wir herausfinden, wie euch das Experiment, das ihr heute durchgeführt habt, gefallen hat und wie ihr euch beim Experimentieren gefühlt habt.

Bei diesen Fragen handelt es sich **nicht um einen Test!** Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten, sondern es geht um **deine persönliche Meinung!** Dein Lehrer/ deine Lehrerin wird nicht erfahren, wie du diesen Fragebogen beantwortet hast.

2. Gib bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen:

| | | <i>stimmt gar nicht</i> | <i>stimmt wenig</i> | <i>stimmt teilweise</i> | <i>stimmt eher</i> | <i>stimmt völlig</i> |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2.1 Das Experiment hat mir Spaß gemacht. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.2 Ich fand das Experiment sehr interessant. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.3 Das Experiment hat mir gut gefallen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. | | | | | | |
| 3.1 Ich habe mich beim Experimentieren angestrengt. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2 Während des Experimentierens habe ich über das Experiment nachgedacht. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. | | | | | | |
| 4.1 Beim Experimentieren fühlte ich mich unter Druck gesetzt. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2 Beim Experimentieren fühlte ich mich angespannt. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3 Ich hatte Bedenken, ob ich das Experiment gut hinbekomme. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. | | | | | | |
| 5.1 Ich konnte selbst steuern, wie ich dieses Experiment durchführe. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5.2 Beim Experimentieren konnte ich selbst entscheiden, wie ich es mache. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5.3 Beim Experimentieren konnte ich so vorgehen, wie ich es wollte. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. | | | | | | |
| 6.1 Mit meiner Leistung beim Experimentieren bin ich zufrieden. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6.2 Beim Experimentieren heute habe ich mich geschickt angestellt. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6.3 Ich glaube, ich war beim Experimentieren heute ziemlich gut. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Vielen Dank für deine Mitarbeit!

- 2. Interesse/
Vergnügen
- 3. Grad der
Herausforderung
- 4. Anspannung/
Druck
- 5. Autonomie-
erleben
- 6. Kompetenz-
erleben

Anhang D: Experimentenspezifische Kategoriensysteme

Im Folgenden werden die im Rahmen von Studie II entwickelten Kategoriensysteme der Schülerinterviews für jede in Forschungsfrage 1.1 identifizierte Materialeigenschaft und jedes der fünf betrachteten Experimente nebeneinandergestellt. Jeweils 50 % der Interviews zu einem Experiment wurden dazu doppelt kodiert; die Interkoder-Reliabilitäten erreichen allesamt den Schwellenwert von 0,7, sodass insgesamt von einer hinreichenden Übereinstimmung der Kodierer und somit Reliabilität der Ergebnisse ausgegangen werden kann ($\kappa_{\text{Destillation}} = 0,82$; $\kappa_{\text{Elektrolyse}} = 0,76$; $\kappa_{\text{pH-Wert-Bestimmung}} = 0,76$; $\kappa_{\text{Gasentwicklung und -nachweis}} = 0,85$; $\kappa_{\text{Titration}} = 0,7$). In den Kategoriensystemen ist in eckigen Klammern zusätzlich die Häufigkeit der Kategorienvergabe in den Schülerinterviews zum jeweiligen Experiment angegeben, wobei jede Kategorie pro Interview-Transkript nur einmal gezählt wurde. Das heißt, die in Klammern angegebene Zahl entspricht der Anzahl an SchülerInnen, die eine Aussage tätigten, die mit der entsprechenden Kategorie kodiert wurde. In jeweils derselben Graustufe markiert sind dabei diejenigen Kategorien einer Zeile, die zu mehr als einem der fünf betrachteten Experimente kodiert wurden. Dies sind folglich diejenigen Kategorien, die in Tabelle 27 (s. Abschnitt 5.5.2) hinzugezogen wurden, um experimentübergreifende Aussagen zum Experimentieren mit alternativen Experimentiermaterialien beziehungsweise klassischen Labormaterialien treffen zu können.

Materialeigenschaft: Alltagsbezug

Tabelle D1

Einfluss des Alltagsbezugs von Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|--|---|--|--|--|
| Grad der Herausforderung | - | - | - | - | - |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | Einfachheit und Intuitivität (Teelicht) [3] | besseres Verständnis der Versuchsanleitung durch Alltags- statt Fachbegriffe (LC) [2] | Einfachheit und Intuitivität (Teelicht) [2] | | Einfachheit und Intuitivität (Spritze) [6] |
| | nachträgliche Nachvollziehbarkeit durch Heimexperimente (LC) [1] | | | | |
| Gelungenheit | - | - | - | - | - |
| Autonomieerleben | - | - | - | - | - |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/Motivation) | überraschendes (Nachmach-) Potential im Heimexperiment (LC) [5] | überraschendes (Nachmach-) Potential im Heimexperiment (LC) [1] | überraschendes (Nachmach-) Potential im Heimexperiment (LC) [1] | | |
| | Interessanztheit: bekanntes Alltagsmaterial (LC) < Fachmaterial (KL) [1] | | Interessanztheit: bekanntes Alltagsmaterial (LC) < Fachmaterial (KL) [6] | Interessanztheit: bekanntes Alltagsmaterial (LC) < Fachmaterial (KL) [6] | |
| Authentizität | - | - | - | - | - |
| Arbeitssicherheit | | | Vertrautheitsgefühl (Teelicht > Bunsenbrenner) [1] | Angst vor Spritzen/ Kanülen/ Stichverletzungen [2] | Angst vor Spritzen/ Kanülen/ Stichverletzungen [2] |

Materialeigenschaft: Beschaffungsform

Ein Einfluss der Beschaffungsform von Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an ein Schulexperiment wurde von SchülerInnen erwartungsgemäß nicht formuliert.

Materialeigenschaft: Chemikalienmenge

Tabelle D2

Einfluss der eingesetzten Chemikalienmenge beim Experimentieren auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|--|---------------------------------|---|--|--|
| Grad der Herausforderung | - | - | - | - | - |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | | | | | Effektdauer (KL > LC): intensivere Auseinandersetzung mit dem Vorgang (KL) [1] |
| Gelungenheit | Effektdauer (KL > LC): detailliertere Beobachtung (KL) [3] | Effektstärke (LC < KL) [2] | Effektstärke; Intensität der Farbeffekte (LC < KL) [2] | Effektstärke; Intensität der Kalkwassertrübung (LC < KL) [2] | Anfälligkeit der Farbeffekte durch sensibles Mengenverhältnis Indikator/ Proben-substanz (LC) [3] |
| | | | Anfälligkeit der Farbeffekte durch sensibles Mengenverhältnis Indikator/ Proben-substanz (LC) [4] | | effiziente Wiederholbarkeit (LC) [6] Effektdauer (KL > LC): detailliertere Beobachtung (KL) [1] |
| Autonomieerleben | - | - | - | - | - |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/ Motivation) | | spektakulärere Effekte (KL) [2] | | | |
| Authentizität | - | - | - | - | - |
| Arbeitssicherheit | - | - | - | - | - |

Materialeigenschaft: Etabliertheit im Unterricht

Tabelle D3

Einfluss der Etabliertheit von Experimentiermaterialien im Chemieunterricht auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|--|-------------|---|------------------------------------|--|
| Grad der Herausforderung | - | - | - | - | - |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | Übung notwendig (Bunsenbrenner) [1] | | | Übung notwendig (Kolbenprober) [4] | |
| Gelungenheit | - | - | - | - | - |
| Autonomieerleben | - | - | - | - | - |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/ Motivation) | Abwechslung zum regulären Experimentieren (LC) [2] | | Brenner-Routine als erstrebenswertes Lernziel [1] | | Abwechslung zum regulären Experimentieren (LC) [4] |
| | Brenner-Routine als erstrebenswertes Lernziel [1] | | | | Überwindung und Gewohnheit nötig (Kanülen) [1] |
| Authentizität | - | - | - | - | - |
| Arbeitssicherheit | - | - | - | - | - |

Materialeigenschaft: Fachbezug Chemie

Tabelle D4

Einfluss des Fachbezugs von Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|---|--|--|--|---|
| Grad der Herausforderung | - | - | - | - | - |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | - | - | - | - | - |
| Gelungenheit | - | - | - | - | - |
| Autonomieerleben | - | - | - | - | - |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/Motivation) | professionelles Experimentiergefühl (KL) [1] | professionelles Experimentiergefühl (KL) [1] | professionelles Experimentiergefühl (KL) [4] | KL entspricht Erwartungshaltung an Chemie [2] | |
| | authentisches Experimentiergefühl (KL) [1] | | | | |
| | Fachmaterial (KL): <i>imposanter, cooler, ansprechender</i> [1] | Fachmaterial (KL): <i>imposanter, cooler, ansprechender</i> [3] | Fachmaterial (KL): <i>imposanter, cooler, ansprechender</i> [4] | Fachmaterial (KL): <i>imposanter, cooler, ansprechender</i> [4] | Fachmaterial (KL): <i>imposanter, cooler, ansprechender</i> [1] |
| | KL entspricht Erwartungshaltung an Chemie [3] | Interessantheit: Besonderheit von Fachmaterial (KL) > bekanntes Alltagsmaterial (LC) [4] | Interessantheit: Besonderheit von Fachmaterial (KL) > bekanntes Alltagsmaterial (LC) [7] | Interessantheit: Besonderheit von Fachmaterial (KL) > bekanntes Alltagsmaterial (LC) [8] | |
| | <i>Hauptsache experimentieren</i> [12] | <i>Hauptsache experimentieren</i> [11] | <i>Hauptsache experimentieren</i> [12] | <i>Hauptsache experimentieren</i> [12] | <i>Hauptsache experimentieren</i> [12] |
| Authentizität | Fach- und Industriebezug/ Forscherpotential (KL > LC) [2] | | Professionalität als Materialeigenschaft (KL) [6] | Fach- und Industriebezug/ Forscherpotential (KL > LC) [4] | |
| | | | Fach- und Industriebezug/ Forscherpotential (KL > LC) [4] | | |
| Arbeitssicherheit | - | - | - | - | - |

Materialeigenschaft: Funktionalität

Tabelle D5

Einfluss der Funktionalität von Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|---|---|--|---|--|
| Grad der Herausforderung | | Fokus auf Folgenabschätzung (KL > LC) [2] | gefordertes Feingefühl (Kerzenanfälligkeit) [2] | Fokus auf Folgenabschätzung (KL > LC) [2] | Fokus auf Folgenabschätzung (KL > LC) [2] |
| | | größere Herausforderung durch komplexere Bedienung (KL) [2] | | größere Herausforderung durch komplexere Bedienung (KL) [7] | größere Herausforderung durch komplexere Bedienung (KL) [2] |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | komplexere Bedienung (KL) (Gasbrenner/ Teelicht) [4] | komplexere Bedienung (KL) (Spannungsquelle/ Batterie) [2] | komplexere Bedienung (KL) (Gasbrenner/ Teelicht) [1] | komplexere Bedienung (KL) (Hahn des Kolbenprobers) [7] | komplexere Bedienung (KL) (Bürettenhahn; Befüllen der Bürette) [7] |
| | | | | | automatisches Eintropfen bietet Ablenkungspotential (Bürette) [2] automatisches Eintropfen lenkt Fokus auf Farbumschlag statt auf Dosierung (Bürette) [2] |
| Gelungenheit | Beobachtung von Einzeleffekten (KL > LC) [6] hier: Destillat verdeckt durch Kühlung (LC) | | | | Beobachtung von Einzeleffekten (KL > LC) [2] hier: Skalenscharbarkeit eingeschränkt durch Trübung des Kunststoffes (LC) |
| Autonomieerleben | eigene Einstellentscheidungen (Hebebühne/ Brennerflamme) [1] | | eigene Einstellentscheidungen (Brennerflamme) [2] | | |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/ Motivation) | | Angespanntheit bei Bedienung (KL > LC) [2] | <i>Nähe zum Geschehen</i> (Blisterpackung > Reagenzgläser) [3] | Angespanntheit bei Bedienung (KL > LC) [7] | Angespanntheit bei Bedienung (KL > LC) [7] |
| Authentizität | - | - | - | - | - |
| Arbeitssicherheit | | | | sauberer Chemikalientransport (Spritzen) [1] | sauberer Chemikalientransport (Spritzen) [2] |

Materialeigenschaft: Gefahrenpotential

Tabelle D6

Einfluss des Gefahrenpotentials von Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|---|---|---|------------------------------|---|
| Grad der Herausforderung | | Gefahrenpotential steigert die Konzentration (KL) [4] | Gefahrenpotential steigert die Konzentration (KL) [6] | | |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | | | Fokus liegt auf dem Bunsenbrenner [6] | | Abgelenktheit durch Angst vor Kanülen [2] |
| Gelungenheit | - | - | - | - | - |
| Autonomieerleben | - | - | - | - | - |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/Motivation) | Präferenz zu LC bei Angst vor Feuer [1] | Ansporn durch 'Nervenkitzel' (KL) [1] | Ansporn durch 'Nervenkitzel' (KL) [3] | | Ansporn durch 'Nervenkitzel' (KL) [4] |
| | | Respekt und Angespanntheit (KL > LC) [4] | Respekt und Angespanntheit (KL > LC) [6] | | |
| Authentizität | - | - | - | - | - |
| Arbeitssicherheit | | | Gefährdungsbeurteilung Gasbrenner > Teelicht [4] | | |

Materialeigenschaft: Größe

Tabelle D7

Einfluss der Größe von Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|--|--|--|---|--|
| Grad der Herausforderung | Schwierigkeiten in der Feinmotorik (LC) // Griffigkeit (KL) [5] | Schwierigkeiten in der Feinmotorik (LC) // Griffigkeit (KL) [3] | Schwierigkeiten in der Feinmotorik (LC) // Griffigkeit (KL) [9] | Schwierigkeiten in der Feinmotorik (LC) // Griffigkeit (KL) [2] | Schwierigkeiten in der Feinmotorik (LC) // Griffigkeit (KL) [6] |
| | Handlichkeit (LC) // Sperrigkeit (KL) [3] | Handlichkeit (LC) // Sperrigkeit (KL) [7] | Handlichkeit (LC) // Sperrigkeit (KL) [4] | | Handlichkeit (LC) // Sperrigkeit (KL) [6] |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | | | Fokus auf Instabilität (LC) [3] | | |
| | | | Übersichtlichkeit am Platz: 'Grobes statt Kleinzeug' (KL) [1] | | |
| Gelungenheit | Beobachtung der Einzeleffekte (KL > LC) [6] | Beobachtung der Einzeleffekte (KL > LC) [11] | Intensität der Farbeffekte (KL > LC) [2] | Beobachtung der Einzeleffekte (KL > LC) [3] | |
| | | Intensität der Effekte (KL > LC) [2] | | | |
| | | Vogelperspektive (Blister) // Rundum-Perspektive (Reagenzglas) [1] | Vogelperspektive (Blister) // Rundum-Perspektive (Reagenzglas) [6] | | |
| Autonomieerleben | - | - | - | - | - |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/Motivation) | - | - | - | - | - |
| Authentizität | Wissenschaftlichkeit durch qualitativ bessere (s) Beobachtung/ Protokoll (KL > LC) [2] | Wissenschaftlichkeit durch qualitativ bessere (s) Beobachtung/ Protokoll (KL > LC) [2] | | | |
| Arbeitssicherheit | | Sauberkeit beim Experimentieren (Reagenzglas > Blister) [1] | Sauberkeit beim Experimentieren (Reagenzglas > Blister) [4] | | Sauberkeit beim Experimentieren (KL > LC) (umgestoßene Ampullengläser) [1] |
| | | | Instabilität (LC) // Stabilität (KL) (Kerzenbrenner, Ampullengläser) [4] | | |
| | | | Schutz vor Chemikalien (Reagenzglas > Blister) [2] | | |

Materialeigenschaft: Größe des Versuchsaufbaus

Tabelle D8

Einfluss der Größe eines Versuchsaufbaus auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|---|--|--------------------|--|--|
| Grad der Herausforderung | | | | Wichtigkeit zeitlicher Koordination steigert Herausforderung (LC) [4]* | |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | | | | Reaktionsweg (KL > LC): mehr Zeit für Verständnis der chemischen Vorgänge (KL) [4] | Übersichtlichkeit der Apparatur (LC) [2] |
| | | | | Fokus auf potentiell zu starker Gasentwicklung (LC) [4]* | |
| Gelungenheit | Reaktionsweg (KL > LC): Zeit für detailliertere Beobachtung der Vorgänge (KL) [1] | Kleingruppen nötig (LC) [1] | | Reaktionsweg (KL > LC): Zeit für detailliertere Beobachtung der Vorgänge (KL) [4] | |
| | Platzersparnis: parallele Dokumentation (LC) [3] | Kleingruppen: bessere Beobachtungsmöglichkeiten (LC) [1] | | | |
| Autonomieerleben | Platzersparnis: Möglichkeit von Einzelexperimenten (LC) [1] | | | | |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/ Motivation) | | | | angespanntes Experimentieren (LC) // ruhiges Experimentieren (KL) [4]* | |
| Authentizität | - | - | - | - | - |
| Arbeitssicherheit | - | - | - | - | - |

Anmerkung: *Die markierten Kategorien wurden nicht in die Ergebnisdarstellung (s. Abschnitt 5.5.3) aufgenommen, weil sie darauf zurückzuführen sind, dass die SchülerInnen einer Interviewgruppe ein für das Spritzenvolumen zu großes Stück Brausetablette eingesetzt haben. Aus diesem Grund ist so viel Kohlenstoffdioxid entstanden, dass die SchülerInnen das Gas nicht mehr Aufziehen mussten, sondern der Kolben selbstständig aufstieg. Die dadurch gebildeten Kategorien sollen hier nicht als Kritik am Low-Cost-Gasentwickler verstanden werden, sondern auf die Wichtigkeit der Passung von Chemikalienmenge und Spritzenvolumen aufmerksam machen.

Materialeigenschaft: Komplexität des Versuchsaufbaus

Tabelle D9

Einfluss der Komplexität eines Versuchsaufbaus auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration | | |
|---|--|---|---|--|---|---|---|
| Grad der Herausforderung | Einfachheit bis Simplizität (LC) // Komplexität (KL) (Glas-/ Stativmaterial) [7] | Einfachheit bis Simplizität (LC) // Komplexität (KL) (Passung v. Stativmaterial/ Mienen/ Becherglas) [8] | angemessene Komplexität (KL) [2] <i>'regt zum Nachdenken an'</i> | Einfachheit bis Simplizität (LC) // Komplexität (KL) (Stativmaterial) [8] | Einfachheit bis Simplizität (LC) <i>'kein Nachdenken nötig'</i> // Komplexität (KL) (Stativmaterial) [5] | | |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | <i>prinzipiell</i> ausreichend (LC) [2] | <i>prinzipiell</i> ausreichend (LC) [2] | Klarheit des Aufbaus durch Separiertheit der Materialien (KL > LC) [1] | Klarheit des Aufbaus durch Separiertheit der Materialien (KL > LC) [4] | Übersichtlichkeit der Apparatur <i>'alles auf einem Raum'</i> (LC) [3] | | |
| | Klarheit des Aufbaus durch Separiertheit der Materialien (KL > LC) [2] | | | | | | |
| | Fokus auf Stabilisierung (LC) // Fokus auf chemischem Vorgang und Dokumentation (KL) [8] | Fokus auf Stabilisierung der Mienen (LC) // Fokus auf Vorgänge an den Elektroden (KL) [12] | Übersichtlichkeit der Apparatur <i>'alles auf einem Raum'</i> (LC) [3] | | Übersichtlichkeit der Apparatur d. Verzicht auf Stativmaterial (LC) [2] | | |
| | | geringer Aufbauaufwand: mehr Zeit für Auswertungsphase (LC) [2] | | | | | |
| Gelungenheit | geringerer Aufbauaufwand: mehr Zeit für Ergebnisdokumentation (LC) [3] | | | | | | |
| Autonomieerleben | - | - | - | - | - | | |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/ Motivation) | | Interessantheit durch größere Herausforderung (KL) [4] <i>'mehr zu machen'</i> | Interessantheit durch größere Herausforderung (KL) [2] <i>'erfordert Nachdenken'</i> | Interessantheit durch größere Herausforderung (KL) [7] <i>'mehr Anspruch'</i> | Interessantheit durch größere Herausforderung (KL) [5] | | |
| | | Stolz-Empfinden (KL) // <i>'kann ja jeder'</i> (LC) [4] | | | | Stolz-Empfinden (KL) // <i>'kann ja jeder'</i> (LC) [3] | Passung von Anstrengung und Resultat (KL) [2] |
| | | Typenabhängigkeit: Labormaterial als Variante für Interessierte (KL) [4] | | | | | |
| Authentizität | - | - | - | - | - | | |
| Arbeitssicherheit | Instabilität durch fehlende Fixierung (LC) // Stabilität (KL) [12] | | | | | | |
| | Instabilität (LC) // Stabilität des Aufbaus (KL) verursacht bzw. verhindert Kontakt mit heißen Apparaturteilen [1] | | | | | | |

Materialeigenschaft: Materialwert

Tabelle D10

Einfluss des Materialwerts auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|---|-------------|--------------------|------------------------------|-----------|
| Grad der Herausforderung | - | - | - | - | - |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | - | - | - | - | - |
| Gelungenheit | - | - | - | - | - |
| Autonomieerleben | - | - | - | - | - |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/ Motivation) | - | - | - | - | - |
| Authentizität | - | - | - | - | - |
| Arbeitssicherheit | höherer Materialwert ermöglicht saubereres Experimentieren (KL) (1) | | | | |

Materialeigenschaft: Robustheit

Tabelle D11

Einfluss der Robustheit von Experimentiermaterialien auf fachdidaktische Anforderungen an ein Experiment

| | Destillation | Elektrolyse | pH-Wert-Bestimmung | Gasentwicklung und -nachweis | Titration |
|---|--|---|--|--|--|
| Grad der Herausforderung | größere Herausforderung durch größere Folgenabschätzung (KL) [4] | | größere Herausforderung durch größere Folgenabschätzung (KL) [3] | größere Herausforderung durch größere Folgenabschätzung (KL) [7] | größere Herausforderung durch größere Folgenabschätzung (KL) [3] |
| Durchschaubarkeit des Gesamtaufbaus und einzelner Bestandteile/ deren Bedienung | Fokus auf Folgenabschätzung (KL > LC) [4] | | Fokus auf Folgenabschätzung (KL > LC) [3] | Fokus auf Folgenabschätzung (KL > LC) [7] | Fokus auf Folgenabschätzung (KL > LC) [3] |
| Gelungenheit | - | - | - | - | - |
| Autonomieerleben | - | - | - | - | - |
| Emotionale Erlebenszustände (Interesse/ Motivation) | | | | Glasbruch-Gefahr: stärkeres Verantwortungsgefühl (KL) [1] | |
| Authentizität | - | - | - | - | - |
| Arbeitssicherheit | | Standfestigkeit (Blisterpackung < Becherglas) [2] | | | |
