



## Inklusion im Chemieunterricht

Planung und Umsetzung eines heterogenitätssensiblen Chemieanfangsunterrichts

Dissertation zur Erlangung des akademischen Doktorgrades

*doctor rerum naturalium* (Dr. rer. nat.)

am Institut für Chemie  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Rostock

vorgelegt von:

Tom Kempke, geb. am 16.02.1990 in Waren (Müritz)

**Gutachter:**

Prof. Dr. Alfred Flint, Universität Rostock

Prof. Dr. Matthias Ducci, Pädagogische Hochschule Karlsruhe

Einreichung: Januar 2024

Verteidigungsdatum: 30.04.2024

DISSERTATION

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT

## Danksagung

Das Thema Inklusion wurde mir intensiv bewusst, nachdem ich in einer Diagnose Förderklasse (DFK) mein Orientierungspraktikum an einer Grundschule in Rostock-Schmarl absolvierte. In diesem Zeitraum lernte ich unterschiedliche Kinder in der zweiten Klasse kennen, die ein breites Spektrum an Förderschwerpunkten aufwiesen. In einer Montagmorgenrunde saßen eine Lehrkraft und ich mit den Kindern in einem Stuhlkreis und jeder berichtete von den Erlebnissen des vergangenen Wochenendes. Eine Schülerin erzählte allen, dass sie auf dem Spielplatz als „*behindert*“ bezeichnet wurde und wusste gar nichts mit dem Begriff anzufangen. Sie verstand nicht, was es bedeutete, so bezeichnet zu werden. Außerdem gab es eine Aussage der Lehrkraft, dass eine andere Schülerin mit Dyskalkulie nie richtig rechnen werden können. Seitdem hat mich das Thema nicht losgelassen, bis ich mit der Fragestellung, wie Schüler:innen mit einem diagnostizierten Förderschwerpunkt im Chemieunterricht eine adäquate Unterstützung erfahren können, zu Prof. Dr. Flint ging. Aus einer Examensarbeit heraus erfolgte der Beginn der Auseinandersetzung zur Gestaltung eines Chemieunterrichts für alle Schüler:innen.

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Flint für die Möglichkeit, mich mit meiner Fragestellung intensiv in diesem Rahmen wissenschaftlich auseinandergesetzt zu haben und erste Schritte zur Gestaltung eines Chemieunterrichts für alle Schüler:innen umsetzen zu können. Dazu gehörten viele Diskussionen, Ideen, die verworfen und aufgegriffen wurden, der konstruktive und wertschätzende Umgang in allen Bereichen, die dazu geführt haben, dass diese Arbeit entstehen konnte.

Aus dem Projekt möchte ich mich vor allem bei Prof. Dr. Thomas Häcker, Prof. Dr. Carolin Retzlaff-Fürst, Dr. Franziska Heyden, Daniel Rühlow und Marlen Grimm bedanken und die damit wundervoll verbundene Zeit innerhalb des Projektes, die einen gewinnbringenden Austausch auf allen Ebenen hervorbrachte und mich oft dazu brachte, eine andere Perspektive einzunehmen.

Im Rahmen dieses Projektes war es mir möglich, kurz in Austausch mit Prof. Dr. em. Georg Feuser zu gelangen, und er meine Vorstellung von Chemieunterricht bekräftigte.

Innerhalb der Arbeitsgruppe möchte ich mich bei Dr. Babette Freiheit für die konstruktiven schulpraktischen Diskussionen bedanken, bei Juliana Zeidler für die vielen Gespräche, wenn es um schwierige Phasen ging, und Anne Katrin Hallman für die emotionale Unterstützung. Ihr habt nicht nur im Arbeitsbereich an meiner Seite gestanden, sondern auch in privaten Angelegenheiten.

Ich bedanke mich bei allen ehemaligen Doktoranden: Dr. Tom Wagner, Dr. Julianne Wagner, Thomas Hoyer, Franziska Davieds, Ronny Helfensteller, Sarah Velasco Sobeck und Anna Weiss, die mich während meiner Zeit in der Arbeitsgruppe begleiteten.

Ich danke allen Dozent:innen und Lehrer:innen mit denen ich auf Tagungen und Fortbildung zu diesem Thema ins Gespräch kam, die mir stets ein positives Feedback rückmeldeten und begeistert von den entstandenen Materialien sind.

Allen Schüler:innen, die sich in meinem Chemieunterricht zu dieser Zeit befanden, mit dem Material Erkenntnisse gewannen und mit denen ich über die Arbeit reflektieren konnte, möchte ich meinen Dank aussprechen.

Meiner Frau, Anastasia Kempke, danke ich vom ganzen Herzen. Du warst stets bekräftigend an meiner Seite. Während so viele Spaziergänge hast Du Dir meine Probleme bei dem Entstehen der Arbeit angehört und auf meinen Gedankengang eingewirkt, sodass ich durch Dich zu einer Lösung kam.

## Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	II
Inhaltsverzeichnis .....	IV
Abkürzungsverzeichnis .....	VI
Abbildungsverzeichnis .....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XIII
Einleitung .....	16
Kapitel 1 Überblick zur Schülerschaft .....	19
1.1 Häufigkeiten der Förderschwerpunkte im Chemieunterricht.....	21
1.2 Hören .....	24
1.3 Sehen.....	26
1.4 Körperlich motorische Entwicklung .....	28
1.5 Emotionale und soziale Entwicklungsstörung .....	30
1.6 Geistige Entwicklung .....	36
1.7 Sprache .....	41
1.8 Autismus .....	51
1.9 Lernen .....	57
1.10 Hochbegabung.....	61
Kapitel 2 Der Differenzierungsansatz .....	67
2.1 Unterrichtsansätze in der Allgemeinen und Speziellen Didaktik.....	67
2.2 Differenzierung .....	71
2.3 Differenzierung im Chemieunterricht .....	73
2.4 Die 3D-Planungshilfe .....	77
Kapitel 3 Konzept „Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells“ .....	82
3.1 Aggregatzustände.....	85
3.2 Zusammenfassung Merkmale der Aggregatzustände .....	91
3.3 Aggregatzustandsänderungen und Energie.....	92
3.4 Energie .....	96
3.5 Das undifferenzierte Teilchenmodell im Chemieanfangsunterricht.....	110
3.6 Zusammenfassung Teilchenvorstellung .....	134

Kapitel 4 Differenzierung „Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells“	136
4.1 Differenzierung Versuch 7: „Erhitzen von Eis“.....	137
4.2 Differenzierung Versuch 14: „Erhitzen von Kerzenwachs“ .....	159
4.3 Differenzierung Versuch 15 „Mischen von Brennspiritus mit Wasser“ und Versuch 16 „Mischen von Erbsen mit Reis“.....	168
4.4 Differenzierung Versuch 17: „Lösen und Auskristallisieren von Zucker“	175
4.5 Differenzierung Versuch 18: „Molekulares Filtrieren“.....	186
4.6 Differenzierung Versuch 19: „Brownsche Molekularbewegung“.....	192
4.7 Differenzierung Versuch 20: „Aufbrühen von rotem Früchtetee“ .....	201
Kapitel 5 Konzept „Einführung der chemischen Reaktion“ .....	207
5.1 Stoffumwandlung und Abgrenzung von der Aggregatzustandsänderung	209
5.2 Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen .....	217
5.3 Die Aktivierungsenergie .....	219
5.4 Anwendung und Festigung .....	230
Kapitel 6 Differenzierung „Einführung der chemischen Reaktion“.....	238
6.1 Differenzierung Versuch 1: „Erhitzen von Lebensmitteln“ .....	238
6.2 Differenzierung Versuch 3: „Verbrennen von Grillkohle“ .....	249
6.3 Differenzierung „endo- und exotherme Reaktion“.....	257
6.4 Differenzierung Versuch 4: „Verbrennen von fossilen Brennstoffen“ .....	258
6.5 Differenzierung Versuch 5: „Lösen einer Brausetablette in Wasser“.....	269
6.6 Differenzierung Versuch 6-10: „Was brennt bei einer Kerze?“ .....	276
6.7 Differenzierung Versuch 11: „Vorgänge in einer brennenden Kerze“ .....	279
Zusammenfassung und Ausblick.....	285
Anhang A: Exkurse .....	288
A1: Exkurs zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells .....	288
A2: Exkurse zur Einführung der chemischen Reaktion .....	290
Anhang B: Differenziertes Material zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells.....	310
Anhang C: Differenziertes Material zur Einführung der chemischen Reaktion ....	311
Literaturverzeichnis.....	312

## Abkürzungsverzeichnis

DSM	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
emsE	emotionale und soziale Entwicklungsstörung
gE	geistige Entwicklungsstörung
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
ICF	<b>I</b> nternational <b>C</b> lassification of <b>F</b> unctioning, <b>D</b> isability and <b>H</b> ealth in deutscher Übersetzung als „ <i>Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit</i> “
kmE	körperlich-motorische Entwicklungsstörung
KMK	Kultusministerkonferenz
LSE	Lernen, Sprache sowie emotionale und soziale Entwicklungsstörung
o. Z.	ohne Zuordnung
WHO	World Health Organisation

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anteil Schüler:innen mit und ohne sonderpäd. Förderschwerpunkt an deutschen Schulen .....	19
Abbildung 2: Aufteilung der Schüler:innen mit sonderpäd. Förderschwerpunkt in den Schularten .....	19
Abbildung 3: Häufigkeiten und Verteilung der Schüler:innen mit sonderpäd. Förderbedarf an den Schulen .....	20
Abbildung 4: Grafik zur Häufigkeit der Förderschwerpunkte in den Klassenstufen 7-10 .....	21
Abbildung 5: Aufschlüsselung der Häufigkeiten .....	22
Abbildung 6: Wechselwirkungen zwischen den Komponenten der ICF.....	24
Abbildung 7: Sehbeeinträchtigungen im Überblick .....	27
Abbildung 8: Schema zu Stimmstörungen.....	45
Abbildung 9: Fördermaßnahmen in der „Institution Schule“.....	54
Abbildung 10: Kernprozesse der Differenzierung nach Leuders und Prediger .....	72
Abbildung 11: Grafik zu den Problemstellen im Chemieunterricht.....	73
Abbildung 12: Prinzip der Differenzierung.....	75
Abbildung 13: Die dreidimensionale Planungshilfe zur Differenzierung eines Experimentes unter Berücksichtigung der Impulsstärke .....	80
Abbildung 14: Übersicht zum Konzept zur Einführung der Teilchenvorstellung ...	84
Abbildung 15: kartesischer Taucher als Qualle und Teufel.....	90
Abbildung 16: Ikonische Darstellung zur Beobachtung des Versuchs „Erhitzen von Eiswürfeln“ .....	93
Abbildung 17: Temperaturkurve Erhitzen von Wasser in unterschiedlichen Aggregatzuständen .....	95
Abbildung 18: Fünf Energiewürfel in 3D .....	98
Abbildung 19: Anwendung des Energiewürfels am Beispiel Erhitzen von Wasser	100
Abbildung 20: Temperatur-Zeit-Diagramm mit Verknüpfung zur Enthalpie.....	101
Abbildung 21: Enthalpie-Diagramm zur Schmelzenthalpie .....	102
Abbildung 22: Enthalpie-Diagramm zur Verdampfungsenthalpie .....	102
Abbildung 23: Versuchsaufbau Entzünden eines Streichholzes mit Wasserdampf	104
Abbildung 24: Erstarren von Wasser in einer Kältemischung.....	105
Abbildung 25: Temperatur-Zeit-Diagramm Erstarren von Wasser .....	106
Abbildung 26: Aggregatzustandsänderung am Beispiel von Wasser mit Enthalpie .....	107
Abbildung 27: Versuchsaufbau Druckabhängigkeit des Siedepunktes am Beispiel von Wasser.....	108
Abbildung 28: Johnstone-Dreieck.....	115

Abbildung 29: Deutung Komprimierung von Gasen.....	116
Abbildung 30: Makroskopische und submikroskopische Betrachtungsweise am Beispiel Wasser.....	118
Abbildung 31: Versuchsaufbau Erhitzen von Kerzenwachs.....	120
Abbildung 32: Makroskopische und submikroskopische Ebene am Beispiel von Paraffin.....	121
Abbildung 33: Lösen und Auskristallisieren von Zucker.....	127
Abbildung 34: Zuckerkristalle.....	128
Abbildung 35: Ikonische Abstraktion zum Zusammensetzen der Filter .....	129
Abbildung 36: Deutung „Molekulares Filtrieren“.....	130
Abbildung 37: Azorubin .....	130
Abbildung 38: Brownsche Bewegung am Beispiel von 1,5 % Milch .....	132
Abbildung 39: Beobachtung Teebeutel in heißem Wasser.....	133
Abbildung 40: Deutung auf submikroskopischer Ebene.....	134
Abbildung 41: Conceptmap zum Teilchenmodell .....	135
Abbildung 42: 3D-Planungshilfe zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells .....	136
Abbildung 43: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 7: "Erhitzen von Eis".....	138
Abbildung 44: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 7: "Erhitzen von Eis".....	139
Abbildung 45: Tabelle zur Zuordnung der Aggregatzustände zu den Temperaturen .....	140
Abbildung 46: Zeitverlauf von fest über flüssig zu Gasförmig der Komponente Wasser.....	141
Abbildung 47: QR-Code mit Anweisung für das Video zum Erhitzen von Eis....	143
Abbildung 48: Videoausschnitt "Erhitzen von Eis".....	144
Abbildung 49: QR-Code mit Anweisung Video: „Erhitzen von Eis“ mit Temperaturverlauf.....	145
Abbildung 50: Bildausschnitt „Erhitzen von Eis“ mit Temperaturverlauf.....	145
Abbildung 51: Wortfeld zur Beobachtung zum Erhitzen von Kerzenwachs .....	146
Abbildung 52: Website zum Wortfeld, li. Titelschrift, re. Begriffssammlung.....	147
Abbildung 53: Beispiel für Satzanfänge.....	148
Abbildung 54: ungeordnete Antwortsätze .....	149
Abbildung 55: Übersicht zu den Temperaturbereichen von Wasser .....	149
Abbildung 56: Erhitzen von Eis Aufgabe 2 .....	150
Abbildung 57: Auswertungsschema .....	150
Abbildung 58: Aggregatzustände dargestellt im Teilchenmodell mit Magneten (li.) und Aquaperlen (mi. u. re.) .....	152
Abbildung 59: Übersicht zur Anordnung der Teilchen.....	153
Abbildung 60: Kärtchen zum Ausfüllen des Schemas.....	155

Abbildung 61: Teillösung des Schemas.....	156
Abbildung 62: Übersicht zur energetischen und submikroskopischen Ebene.....	157
Abbildung 63: Aufgabenstellung zur Verknüpfung der energetischen mit der submikroskopischen Ebene .....	158
Abbildung 64: AR-Animation zu Wasser .....	159
Abbildung 65: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 14: "Erhitzen von Kerzenwachs" .....	160
Abbildung 66: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 14: "Erhitzen von Kerzenwachs" .....	161
Abbildung 67: Versuchsaufbau Erhitzen von Kerzenwachs.....	164
Abbildung 68: Lückentext .....	166
Abbildung 69: Satzmuster .....	167
Abbildung 70: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 15: "Mischen von Brennspiritus mit Wasser" und 16 „Mischen von Erbsen mit Reis“ .....	169
Abbildung 71: Arbeitsblatt S. 3 zum Versuch 15: "Mischen von Brennspiritus mit Wasser" und 16 „Mischen von Erbsen mit Reis“ .....	170
Abbildung 72: Durchführung Mischen von Reis mit Erbsen sprachsensibel mit Fotografien .....	173
Abbildung 73: Durchführung Mischen von Reis mit Erbsen sprachsensibel mit bildlicher Darstellung .....	173
Abbildung 74: QR-Codes zur Durchführung des Modellversuchs "Mischen von Erbsen mit Reis" .....	174
Abbildung 75: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 17: „Lösen und Auskristallisieren von Zucker“ .....	176
Abbildung 76: Arbeitsblatt S. 3 zum Versuch 17: „Lösen und Auskristallisieren von Zucker“.....	177
Abbildung 77: Beobachtungshinweise zum Lösen und Auskristallisieren von Zucker .....	179
Abbildung 78: Auswertungsschema Lösen und Auskristallisieren von Zucker .....	180
Abbildung 79: Auswertungsschema mit Realabbildungen.....	182
Abbildung 80: Informationskasten und Merksatz.....	182
Abbildung 81: Wortgeländer .....	184
Abbildung 82: Filmleiste mit ikonischen Abstraktionen und Lückentext.....	185
Abbildung 83: Filmleiste mit Fotografien und Lückentext .....	185
Abbildung 84: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 18: „Molekulares Filtrieren“ .....	187
Abbildung 85: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 18: „Molekulares Filtrieren“ .....	188
Abbildung 86: Lückentext zur Deutung des Löseprozesses Aufgabe 4.2 .....	191
Abbildung 87: Lückentext zur Deutung des Filtrierens Aufgabe 4.3 .....	191

Abbildung 88: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 19: „Brownsche Molekularbewegung“	193
Abbildung 89: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 19: „Brownsche Molekularbewegung“	194
Abbildung 90: Lösungsbeispiel zur Bewegung eines Fetttröpfchens	196
Abbildung 91: Informationstext zum Versuch Mikroskopieren von Milch (Brownsche Bewegung)	197
Abbildung 92: Aufbau Fetttröpfchen in 3D	198
Abbildung 93: Re. Ausschnitt Mikroskopie von Milch, li. Deutung im Teilchenmodell	198
Abbildung 94: Filmleiste zur Brownschen Bewegung	199
Abbildung 95: Modelldarstellung Brownsche Bewegung mit Aquaperlen	200
Abbildung 96: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 20: „Aufbrühen von rotem Früchtetee“	202
Abbildung 97: Arbeitsblatt S. 3 zum Versuch 20: „Aufbrühen von rotem Früchtetee“	203
Abbildung 98: Auswertungsschema zum Versuch "Aufbrühen von rotem Früchtetee"	205
Abbildung 99: Verteilung der Teilchen aus dem Teebeutel	206
Abbildung 100: Übersicht zum Konzept zur Einführung der chemischen Reaktion	208
Abbildung 101: Versuchsaufbau Verbrennen von Grillkohle	216
Abbildung 102: Enthalpie-Diagramme für die Versuche „Verschwelen von Holz“ und „Verbrennen von Grillkohle“	218
Abbildung 103: Darstellung einer exothermen Reaktion auf mehreren Darstellungsebenen	220
Abbildung 104: Enthalpie-Diagramme exotherme Reaktion	222
Abbildung 105: Darstellung einer endothermen Reaktion auf mehreren Darstellungsebenen	223
Abbildung 106: Enthalpie-Diagramme endotherme Reaktion	224
Abbildung 107: Versuchsaufbau Verbrennung von Feuerzeugbenzin	226
Abbildung 108: Versuchsaufbau Verbrennung von Feuerzeuggas	226
Abbildung 109: Enthalpie-Diagramm Verbrennung von Feuerzeugbenzin	227
Abbildung 110: Versuchsaufbau Lösen einer Brausetablette in Wasser	228
Abbildung 111: Enthalpie-Diagramm Lösen einer Brausetablette in Wasser	229
Abbildung 112: Versuchsaufbau Verbrennen eines Doctes	231
Abbildung 113: Versuchsaufbau Rolle des Doctes einer Kerze	232
Abbildung 114: Versuchsaufbau Überprüfung der Brennbarkeit von Kerzenwachs	233

Abbildung 115: Versuchsaufbau Entzünden von Wachsdämpfen.....	235
Abbildung 116: Versuchsaufbau Vorgänge in einer brennenden Kerze li. Nachweis von Wasser, re. Nachweis von Kohlenstoffdioxid .....	236
Abbildung 117: 3D-Planungshilfe für die Differenzierung des Konzeptes zur Einführung der chemischen Reaktion.....	238
Abbildung 118: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 1: „Erhitzen von Lebensmitteln“ .....	239
Abbildung 119: Tabelle für Beobachtung und Schlussfolgerung zum Versuch Erhitzen von Lebensmitteln .....	241
Abbildung 120: Übersicht zur Bestimmung von Stoffeigenschaften .....	242
Abbildung 121: Wortfeld zur Beobachtung.....	243
Abbildung 122: Karten zum Zuordnen der Beobachtung und der Schlussfolgerung .....	244
Abbildung 123: Vergleich der Ausgangsstoffe und der Reaktionsprodukte .....	245
Abbildung 124: Infokasten zur Definition der chemischen Reaktion und zum Aufstellen von Wortgleichungen .....	247
Abbildung 125: Puzzle-Set zu Wortgleichungen.....	248
Abbildung 126: Puzzle-Teile in Verwendung .....	248
Abbildung 127: Lösung des Puzzles am Beispiel von Zucker .....	249
Abbildung 128: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 3: „Verbrennen von Grillkohle“ Planung durch Schüler:innen .....	250
Abbildung 129: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 3: „Verbrennen von Grillkohle“.....	251
Abbildung 130: Liste an Geräten und Chemikalien der Materialbox .....	253
Abbildung 131: Durchführung zum Verbrennen von Grillkohle.....	255
Abbildung 132: Wortgeländer zur Durchführung zum Verbrennen von Grillkohle .....	255
Abbildung 133: Ikonische Abstraktionen der Durchführung zum Verbrennen von Grillkohle mit Satzanfängen und Wortliste.....	257
Abbildung 134: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 4: „Verbrennen von Benzin“....	259
Abbildung 135: Beobachtungen zum Verbrennen von Feuerzeugbenzin zusammengefasst .....	261
Abbildung 136: Energiewürfel und QR-Codes für eine exotherme Reaktion .....	263
Abbildung 137: Energiewürfelszenario zur Verbrennung von Feuerzeugbenzin Teil I .....	266
Abbildung 138: Energiewürfelszenario zur Verbrennung von Feuerzeugbenzin Teil II .....	266
Abbildung 139: Zuordnen zur Erstellung des Enthalpie-Diagramms.....	268
Abbildung 140: Zuordnen zur Erstellung des Enthalpie-Diagramms mittlerer Impuls .....	269

Abbildung 141: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 5: „Lösen einer Brausetablette“	270
Abbildung 142: Wärmebildaufnahmen während des Lösens einer Brausetablette in Wasser .....	272
Abbildung 143: Ikonische Darstellung des Wärmetransportes einer endothermen Reaktion .....	273
Abbildung 144: Energiewürfel und QR-Codes für eine endotherme Reaktion .....	274
Abbildung 145: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 6-10: „Was brennt bei einer Kerze?“ .....	277
Abbildung 146: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 11: „Vorgänge in einer brennenden Kerze“ .....	280
Abbildung 147: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 11: „Vorgänge in einer brennenden Kerze“ .....	281
Abbildung 148: Auswertungsaufgabe zu den Vorgängen einer brennenden Kerze	283
Abbildung 149: Bildabfolge Durchführung kartesischer Taucher .....	288
Abbildung 150: Ikonische Deutung kartesischer Taucher .....	289
Abbildung 151: Wassernachweis bei Wasser, Brennspiritus, Feuerzeugbenzin, Petroleum und Holzöl (von li. nach re.) .....	291
Abbildung 152: gesamter Versuchsaufbau, präparierte Spritze, präparierte Spritze auf Glasplatte, Nahaufnahme Kristallisierschale .....	292
Abbildung 153: ikonische Abstraktion des Versuchsaufbaues .....	293
Abbildung 154: Wärmebildaufnahme Rohrreiniger .....	294
Abbildung 155: Durchführung Verbrennen von Grillkohle in einer Quarzrohr....	296
Abbildung 156: Durchführung Verbrennen von Erdgas (Methan) in Sauerstoffatmosphäre mit gleichzeitigem Nachweis von Kohlenstoffdioxid und Wasser .....	299
Abbildung 157: Gesamter Versuchsaufbau, präparierte Spritze, präparierte Spritze auf Glasplatte, Nahaufnahme Kristallisierschale .....	302
Abbildung 158: Ikonische Abstraktion des Versuchsaufbaues .....	302
Abbildung 159: Wärmebildaufnahme Brausetablette .....	303
Abbildung 160: Durchführung Verbrennung und Verdunstung von Brennspiritus .....	306
Abbildung 161: Verdunstungsgeschwindigkeit von Brennspiritus in einer Petrischale .....	308

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht zur Klassifikation der Schädigungen von Körperfunktionen..	29
Tabelle 2: Formen von Auffälligkeiten in verschiedenen Bereichen .....	33
Tabelle 3: Grade geistiger Unterentwicklung/ Behinderung .....	38
Tabelle 4: Auswirkungen auf schulisches Erleben bei Kindern und Jugendlichen im Förderschwerpunkt emotional-soziale Entwicklung.....	40
Tabelle 5: Erscheinungsformen zum Förderschwerpunkt Autismus .....	53
Tabelle 6: Leitmerkmale der Inklusiven Didaktik .....	70
Tabelle 7: Hierarchische Stufen des MHC-Modells.....	78
Tabelle 8: Abstraktionsgrade .....	79
Tabelle 9: Kurzzusammenfassung der Schüler:innenvorstellungen zu den Aggregatzuständen .....	84
Tabelle 10: Merkmale der Aggregatzustände .....	92
Tabelle 11: Vorstellungen von Schüler:innen zur submikroskopischen Ebene .....	114
Tabelle 12: Messwerte der aufgenommenen Volumina .....	125
Tabelle 13: Vergleich Rückhaltebereich Filterpapier mit Moleküldurchmesser von Azorubin.....	131
Tabelle 14: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 7: "Erhitzen von Eis" .....	140
Tabelle 15: Einordnung des Zeitverlaufs in die dreidimensionale Planungshilfe...	141
Tabelle 16: Einordnung von Videos in die dreidimensionale Planungshilfe.....	142
Tabelle 17: Gesetzmäßigkeiten der Visualisierung und Wahrnehmung nach [108, S. 360].....	143
Tabelle 18: Einordnung von Wortfeldern in die dreidimensionale Planungshilfe .	145
Tabelle 19: Einordnung von Satzanfängen in die dreidimensionale Planungshilfe	147
Tabelle 20: Einordnung von Antwortssätzen in die dreidimensionale Planungshilfe .....	148
Tabelle 21: Einordnung von konkreten Modellen in die dreidimensionale Planungshilfe.....	151
Tabelle 22: Einordnung von AR in die dreidimensionale Planungshilfe .....	152
Tabelle 23: Einordnung von Kärtchen in die dreidimensionale Planungshilfe.....	154
Tabelle 24: Einordnung von Teillösungen in die dreidimensionale Planungshilfe	155
Tabelle 25: Einordnung von AR-Sequenzen in die dreidimensionale Planungshilfe .....	158
Tabelle 26: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 14: "Erhitzen von Kerzenwachs" .....	162
Tabelle 27: Einordnung von Fotografien und Abbildungen von Versuchsaufbauten in die dreidimensionale Planungshilfe.....	163

Tabelle 28: Einordnung von Lückentexten in die dreidimensionale Planungshilfe	165
Tabelle 29: Einordnung von Satzmustern in die dreidimensionale Planungshilfe.	166
Tabelle 30: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 15: "Mischen von Brennspiritus mit Wasser" und 16 „Mischen von Erbsen mit Reis“ .....	171
Tabelle 31: Einordnung differenzierter Versuchsdurchführungen in die dreidimensionale Planungshilfe.....	172
Tabelle 32: Einordnung von QR-Codes in die dreidimensionale Planungshilfe ....	174
Tabelle 33: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 17: „Lösen und Auskristallisieren von Zucker“ .....	178
Tabelle 34: Einordnung von Beobachtungshinweisen in die dreidimensionale Planungshilfe .....	179
Tabelle 35: Einordnung von Fotografien im Deutungsschema in die dreidimensionale Planungshilfe .....	181
Tabelle 36: Einordnung von Wortgeländern in die dreidimensionale Planungshilfe .....	183
Tabelle 37: Einordnung von Filmleisten in die dreidimensionale Planungshilfe ...	184
Tabelle 38: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 18: „Molekulares Filtrieren“ .....	189
Tabelle 39: Einordnung von Lückentexten mit Fotografien in die dreidimensionale Planungshilfe .....	190
Tabelle 40: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 19: „Brownsche Molekularbewegung“ .....	195
Tabelle 41: Einordnung von Lösungsbeispielen in die dreidimensionale Planungshilfe .....	196
Tabelle 42: Einordnung von Modellarbeit in die dreidimensionale Planungshilfe.	200
Tabelle 43: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 20: „Aufbrühen von rotem Früchtetee“.....	204
Tabelle 44: Einordnung von Hinweisen zum Zeichnen in die dreidimensionale Planungshilfe .....	205
Tabelle 45: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 1: „Erhitzen von Lebensmitteln“.....	240
Tabelle 46: Einordnung einer Strukturierungshilfe zur Beschreibung von Beobachtungen in die dreidimensionale Planungshilfe .....	242
Tabelle 47: Einordnung von strukturierten Wortfeldern in die dreidimensionale Planungshilfe .....	243
Tabelle 48: Einordnung von Zuordnungskarten in die dreidimensionale Planungshilfe .....	244
Tabelle 49: Einordnung von Vorher-/Nachher-Vergleichen in die dreidimensionale Planungshilfe .....	245

Tabelle 50: Einordnung von Puzzles in die dreidimensionale Planungshilfe.....	247
Tabelle 51: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 3: „Verbrennen von Grillkohle“ .....	252
Tabelle 52: Einordnung von Abbildungen mit Wortgeländer in die dreidimensionale Planungshilfe.....	254
Tabelle 53: Einordnung von Abbildungen mit Wortgeländer in die dreidimensionale Planungshilfe.....	256
Tabelle 54: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 4: „Verbrennen von Benzin“ .....	260
Tabelle 55: Einordnung einer chronologischen Abfolge der Beobachtung in die dreidimensionale Planungshilfe.....	261
Tabelle 56: Einordnung einer AR-Sequenz für die exotherme Reaktion in die dreidimensionale Planungshilfe.....	262
Tabelle 57: Beschreibung der AR-Sequenz für eine exotherme Reaktion .....	264
Tabelle 58: Einordnung eines Energiewürfelszenarios in die dreidimensionale Planungshilfe.....	265
Tabelle 59: Einordnung von Zuordnungskarten in die dreidimensionale Planungshilfe .....	267
Tabelle 60: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 5: „Lösen einer Brausetablette“.....	271
Tabelle 61: Einordnung einer Wärmebildkamera in die dreidimensionale Planungshilfe .....	272
Tabelle 62: Einordnung AR-Sequenz für die endotherme Rektion in die dreidimensionale Planungshilfe.....	274
Tabelle 63: Beschreibung der AR-Sequenz für eine endotherme Reaktion .....	276
Tabelle 64: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 6-10: „Was brennt bei einer Kerze?“ .....	278
Tabelle 65: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 11: „Vorgänge in einer brennenden Kerze“.....	282
Tabelle 66: Vergleich Verbrennen und Verdunsten von Brennspiritus.....	309

## Einleitung

Seit mehreren Jahren, insbesondere seit der Ratifizierung der UN-Behindertenrechtskonvention im Jahr 2009 [1] in Deutschland seitens der Bundesrepublik, rückt das Thema „**Inklusion**“ mehr und mehr in den Blickpunkt der Bildungspolitik und die Entwicklung und Umsetzung eines inklusiven Bildungssystems schreitet sukzessive voran.

Artikel 24 der UN-Behindertenrechtskonvention definiert für die inklusive Bildungen u.a. folgende Schwerpunkte:

### **Recht auf Bildung durch ein inklusives Bildungssystem**

- Persönlichkeitsentfaltung
- Entfaltung der Kreativität, der Begabung und geistiger und körperlicher Fähigkeiten
- gleichberechtigte gesellschaftliche Teilhabe

### **Sicherstellung durch**

- kein Ausschluss durch eine Behinderung vom allgemeinen Bildungssystem
- Zugang zu inklusivem und hochwertigem Unterricht
- Förderung für eine erfolgreiche Bildung
- individuell angepasste Unterstützungsmaßnahmen für eine bestmögliche Entwicklung

### **Maßnahmen zur Umsetzung**

- Einstellung von Lehrpersonal sowie Fortbildung der Lehr-/Förderkräfte
- Materialien zur Unterstützung vgl. [1].

Inklusion bedeutet, dass Unterschiede als Normalität betrachtet werden und jeder Mensch das Recht haben soll, gemeinsam zu leben, voneinander zu lernen und den individuellen Bedürfnissen nachzukommen. Für die Bildungspolitik und die damit verbundene „Institution Schule“ kann als Leitsatz formuliert werden:

*„Egal, wie ein Kind beschaffen ist, es hat das Recht, alles Wichtige über die Welt zu erfahren, weil es in dieser Welt lebt.“ Georg Feuser [2, S. 19]*

Lehrer:innen und Schüler:innen in ihrem Schulalltag zu unterstützen, insbesondere vor der Herausforderung der Inklusion, ist Aufgabe der Fachdidaktik, indem konkrete Unterrichtsmaterialien nach einem ganzheitlichen Konzept bereitzustellen sind. Ziel meiner Arbeit ist es, erste

Schritte vorzustellen, wie experimenteller Chemieunterricht konkret umgesetzt werden kann, indem Versuche auf mehreren Ebenen heterogenitätssensibel gestaltet werden. Ausgangspunkt sind die Schüler:innen in ihrem individuellen Sein, wobei vor allem auf die „Randgruppen“ der Schülerschaft, also die Förderschwerpunkte im besonderen Maße und die Hochbegabung eingegangen wird. Analysiert man die einzelnen Förderschwerpunkte der KMK, wird deutlich, dass sich daraus mehrere Maßnahmen zur Förderung der Lernenden ergeben. Vor allem ist angedacht, dass die Lerngegenstände für die Kinder und Jugendlichen einen lebenspraktischen Kontext haben und handlungsorientiert sind, weil sie Sachinhalte leichter aufnehmen, wenn diese mit konkreten Handlungen verbunden sind. Wichtig dabei ist, dass sie während und nach ihrer Tätigkeit mit anderen Schüler:innen über die Abläufe des durchgeföhrten Versuchs, die gewonnenen Erkenntnisse und die Einbettung in das gemeinsame Thema kommunizieren, um ihren Wissensaufbau zu festigen, sowie ihre sozialen Kompetenzen zu stabilisieren bzw. zu erweitern. Besonders herausfordernd ist, es für Jugendliche Lerninhalte altersgerecht zu gestalten.

Um eine adäquate, ganzheitliche Förderung den Kindern und Jugendlichen mit keinem, einem oder mehreren Förderschwerpunkten zu ermöglichen, ist die Fachdidaktik gefordert, entsprechende Konzepte und Materialien zu entwickeln, die den Anforderungen von Kindern und Jugendlichem gerecht werden.

Eines der Unterrichtsfächer, das in diesem Sinne ein enormes Potential bietet, weil es sowohl handwerkliche als auch abstrakte und kognitive Herausforderung anbietet, ist Chemie. Um **allen** Schüler:innen gerecht zu werden muss dieser Unterricht bestimmte Anforderungen erfüllen. Diese Arbeit verfolgt das Ziel einen Ansatz vorzustellen, wie Schüler:innen gemeinsam experimentell sich Wissen zu chemischen Grundprinzipien aneignen können.

Im ersten Kapitel wird die heterogene Schülerschaft beschrieben und genauer auf die Förderschwerpunkte, die Hochbegabung und mögliche Interventionsansätze, die für den Chemieunterricht eine Bedeutung besitzen, eingegangen. Anschließend erfolgt im zweiten Kapitel die Ausführung des entwickelten Differenzierungsansatzes mit den Bestandteilen „Kooperation am gemeinsamen Gegenstand“ nach Feuser [2], der Rolle des Konzeptes „Chemie fürs Leben“ nach Flint [3], die Form der Aufgabenstellung nach Leisen und das systematisierte Vorgehen in der Entwicklung und Bereitstellung von unterschiedlichen Zugangswegen. Im drauffolgenden Kapitel erfolgt ein Vorschlag zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells nach dem Konzept „Chemie fürs Leben“. Im vierten Kapitel erfolgt die Vorstellung der

entwickelten Unterstützungsangebote zu den Versuchen zum undifferenzierten Teilchenmodell. Der Konzeptvorschlag zur Einführung der chemischen Reaktion erfolgt in Kapitel fünf sowie die Beschreibung der lernstrukturierenden Hilfen in Kapitel sechs.

## Kapitel 1 Überblick zur Schülerschaft

Schule als Institution mit ihrem dazugehörigen Personal hat den Bildungsauftrag Schüler:innen bei ihrer Entwicklung zu mündigen Mitgliedern der Gesellschaft zu unterstützen. 2020 besuchten in Deutschland 10.757.000 [4, S. 21] Schüler:innen die Schule, wovon 582.418 Schüler:innen [5, S. 3] einen sonderpädagogischen Förderschwerpunkt aufwiesen.

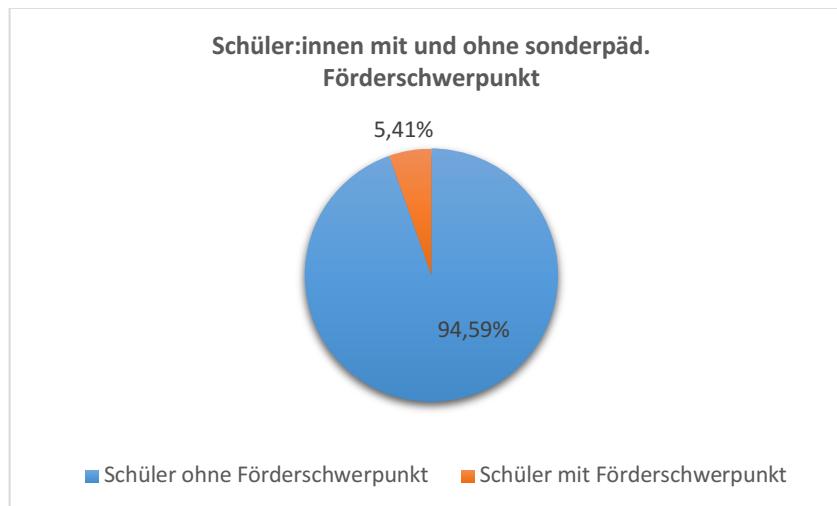


Abbildung 1: Anteil Schüler:innen mit und ohne sonderpäd. Förderschwerpunkt an deutschen Schulen

Das entspricht ca. fünf Prozent der gesamten Schülerschaft, die zu 43,69 % an allgemeinen Schulen und zu 56,31 % an Förderschulen unterrichtet werden [5, S. 3].

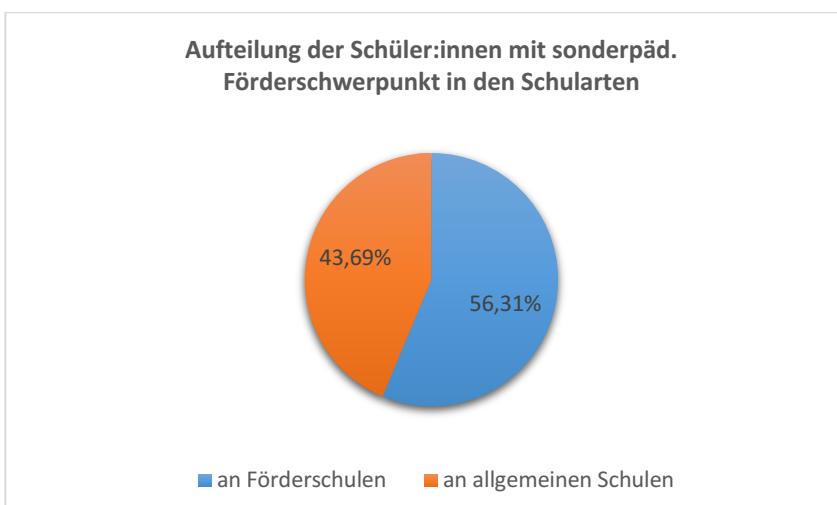
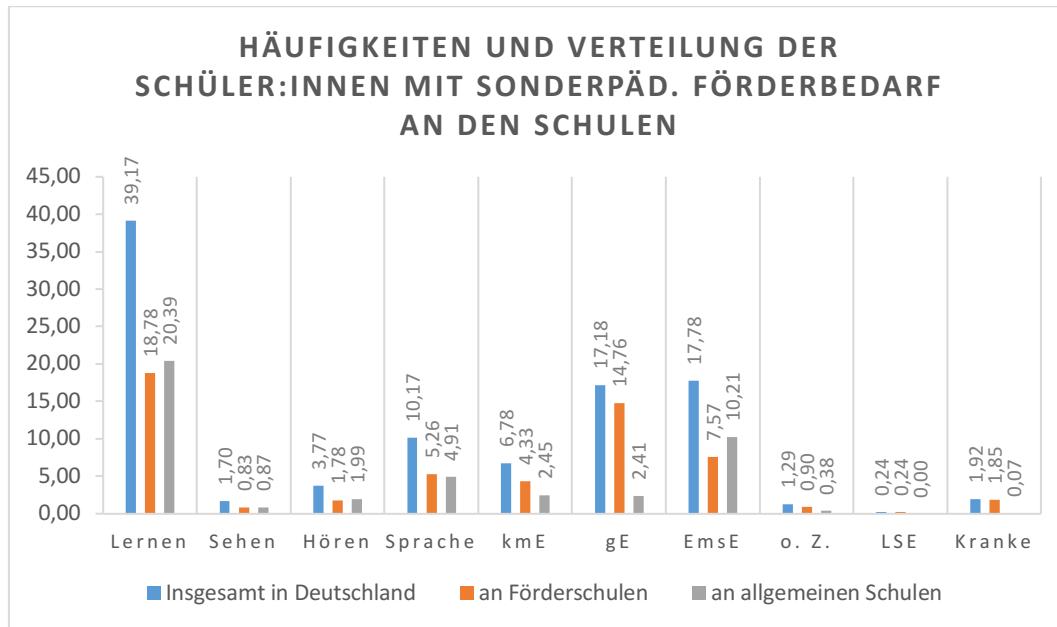


Abbildung 2: Aufteilung der Schüler:innen mit sonderpäd. Förderschwerpunkt in den Schularten

Zwar lässt sich daraus ableiten, dass mehr als die Hälfte der Schüler:innen mit einem sonderpädagogischen Förderbedarf an allgemeinen Schulen unterrichtet werden, jedoch sagt die Grafik nichts über die Verteilung und Häufigkeit der verschiedenen klassifizierten Förderschwerpunkte an den allgemeinen Schulen und Förderschulen aus. Diese ist in der Abbildung 3 zu entnehmen [5, S. 3].



**Abbildung 3: Häufigkeiten und Verteilung der Schüler:innen mit sonderpäd. Förderbedarf an den Schulen**

Aus dieser Grafik kann die Verteilung der Schülerschaft mit einem sonderpädagogischen Förderbedarf entnommen werden, wobei auffällig ist, dass bereits bei dem am häufigsten auftretenden Förderschwerpunkt *Lernen* mehr als die Hälfte an allgemeinen Schulen unterrichtet wird. Gleiches gilt für den Förderschwerpunkt *emotionale und soziale Entwicklungsstörung (emsE)*. Ähnlich verhält es sich für die Förderschwerpunkte *Sehen*, *Hören* und *Sprache*, wobei eher gleiche Anteile an den Schularten vertreten sind. Weniger in den allgemeinen und mehr in den Förderschulen sind hingegen die Förderschwerpunkte *körperlich-motorische Entwicklungsstörung (kmE)*, *geistige Entwicklung (gE)*, *ohne Zuordnung (o.Z. z.B. Autismus)* und *Kranke* vertreten. Gar nicht an allgemeinen Schulen zu verorten, sind Schüler:innen mit einem multiplen Auftreten von Förderschwerpunkten *Lernen*, *Sprache* sowie *emotionale und soziale Entwicklung (LSE)*. Insgesamt kann festgehalten werden, dass es von 2011 (121.999 Schüler:innen) bis 2020 (254.465 Schüler:innen) [5, S. XIX] zu einem erheblichen Anstieg der Schüler:innen mit sonderpädagogischem Förderschwerpunkt an allgemeinen Schulen über die Jahre gekommen ist.

Die Erhebungen, Zahlen und Grafiken ermöglichen einen theoretischen Einblick in die Verteilung der Förderschwerpunkte an den allgemeinen Schulen, aber nicht konkret in den Klassenstufen und innerhalb des Chemieunterrichts.

### 1.1 Häufigkeiten der Förderschwerpunkte im Chemieunterricht

Jachhalke befragte 2017 180 Lehrkräfte, um einen Gesamtüberblick zur Schülerschaft mit einem sonderpädagogischen Förderbedarf im Chemieunterricht zu erhalten. Dadurch liegen Werte vor, die einen Aufschluss über die ungefähre Situation an den Regionalschulen und Gymnasien in der Sekundarstufe I, der Klassen sieben bis zehn liefern. Die Prozentsätze ergeben sich aus den Antworten der befragten Lehrkräfte, die mit den jeweiligen Förderschwerpunkten in den unterschiedlichen Klassenstufen alltäglich konfrontiert werden. Dabei ist es möglich, dass Werte von einer Lehrkraft in mehreren Klassenstufen vertreten sind.

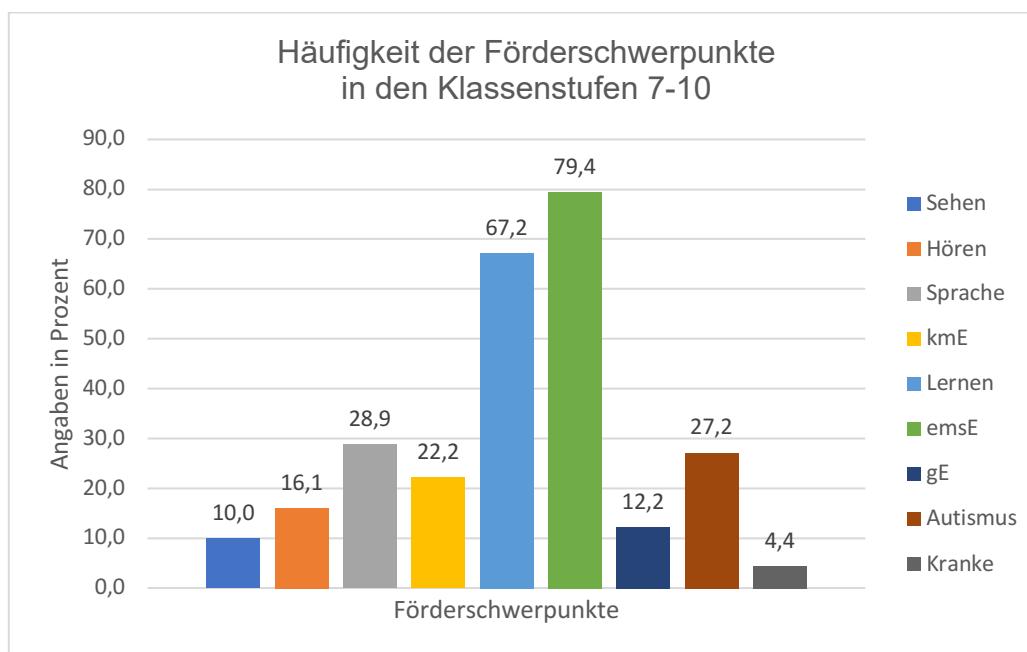


Abbildung 4: Grafik zur Häufigkeit der Förderschwerpunkte in den Klassenstufen 7-10

Der häufigste Förderschwerpunkt in den Klassenstufen sieben bis zehn ist die *emotionale und soziale Entwicklung* (emsE) mit einem Wert von 79,4 %, gefolgt vom Förderschwerpunkt *Lernen* mit 67,2 %. An dritter Stelle stehen Kinder und Jugendliche mit dem sonderpädagogischen Förderbedarf im Bereich *Sprache* (28,9 %). Den vierhäufigsten Förderschwerpunkt stellen Lernende mit der Diagnose autistisches Verhalten mit 27,2 % dar (anstelle von o.Z. aufgenommen). Die *körperlich-motorische Entwicklung* (kmE) reiht sich mit einem Prozentsatz von 22,2 % ein. Kinder mit dem sonderpädagogischen Förderbedarf *Hören* stehen mit einem Wert von 16,2 % an sechster Stelle.

Darauf folgt der Förderschwerpunkt *geistige Entwicklung* (gE) mit einer Präsenz von 12,2 %. Die am geringsten auftretenden Förderbedarfe bilden die Bereiche *Sehen* mit 10,0 % und *Kranke* Schüler:innen mit 4,4 %. Der Förderschwerpunkt LSE konnte nicht erhoben werden, da dieser nicht an den allgemeinen Schulen vertreten ist.

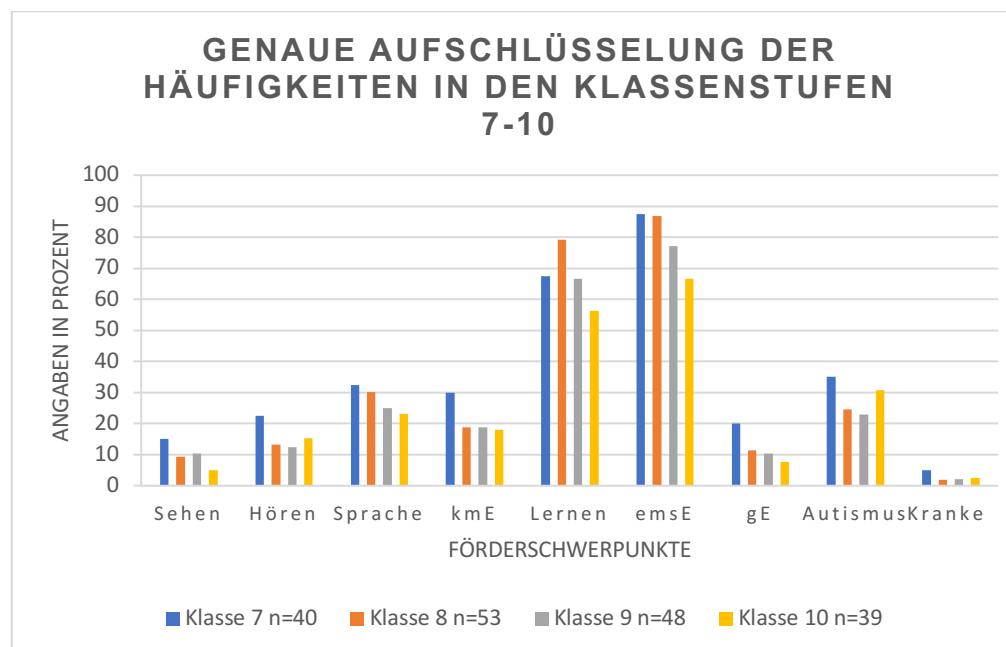


Abbildung 5: Aufschlüsselung der Häufigkeiten

Auf der Abbildung 5 ist ersichtlich, wie der Momentzustand (2017) in den Klassenstufen sieben bis zehn ist. Hier wird deutlich mit welchem ungefähren Prozentsatz in den jeweiligen Klassenstufen ein Förderschwerpunkt auftreten kann. Lehrkräfte werden vor allem den Förderschwerpunkten „emsE“, „Lernen“, „Sprache“ und „Autismus“ begegnen. In den einzelnen Klassenstufen spiegelt sich das Auftreten der verschiedenen Förderschwerpunkte unterschiedlich wider. Die Angaben zeigen, mit welcher Häufigkeit der sonderpädagogische Förderbedarf in den Klassenstufen sieben bis zehn derzeitig vorkommt. Leider ist aus der Umfrage nicht ersichtlich, wie viele Schüler:innen in den Klassen insgesamt vertreten sind. Es ist wahrscheinlicher, dass eher Kinder mit dem Förderschwerpunkt „emsE“, „Lernen“, „Sprache“ und „Autismus“ in den Klassen vorkommen als Kinder mit dem Förderschwerpunkt „Sehen“ oder „geistige Entwicklung“. Ausgeschlossen ist dabei nicht, dass Förderschwerpunkte bei einer Person kumulativ auftreten könnten. In Mecklenburg-Vorpommern ist z.B. der Anteil an Schüler:innen mit den Förderschwerpunkten Lernen und emotional-soziale Entwicklungsstörung in den Klassen höher, aufgrund der sukzessiven Auflösung der Förderschulen für diese Förderschwerpunkte.

Im Folgenden werden ausgewählte Förderschwerpunkte hinsichtlich der Definition, den Erscheinungsformen und einiger möglicher Interventionsmöglichkeiten bzw. Methoden dargestellt, die im Unterricht angewendet werden können. Kinder und Jugendliche mit einer Einschränkung in der Entwicklung können und dürfen nicht separiert werden. Zwar können die Förderbedarfe unterschiedlich stark ausgeprägt sein, um jedoch eine Vertiefung der Probleme zu vermeiden, muss das Kind als Ganzes gesehen und entsprechende Interventionsmaßnahmen ergriffen werden. Um eine maladaptive Entwicklung zu vermeiden, müssen Präventivmaßnahmen ergriffen werden, damit schwerwiegende Probleme z.B. nach dem ATI<sup>1</sup>-Ansatz und dem RTI<sup>2</sup>-Ansatz [6, S. 61], wie eine Leistungsminderung, gar nicht erst entstehen und eine Intervention vorgebeugt werden kann („wait to fail“- Prozess [7]). Eine Intervention setzt dann ein, wenn es bereits zu Komplikationen in der Entwicklung gekommen ist. Beide Begriffe bilden einen Rahmen in der „Institution Schule“. So wird bei Kindern mit einem unvermeidbaren, diagnostizierten Förderbedarf interveniert und präventiv bei Lernenden ohne Beeinträchtigung gehandelt. Die Empfehlungen der KMK zu den einzelnen Förderschwerpunkten stellen eine erste Orientierung für Lehrkräfte dar, denn sie sind viel zu allgemein verfasst und geben nur Anregungen für adäquate Handlungen im Umgang mit den Kindern und Jugendlichen, bei denen ein sonderpädagogischer Förderschwerpunkt diagnostiziert wurde.

Bei einem diagnostizierten Förderschwerpunkt kann eine Behinderung Ursache sein. Der Begriff „Behinderung“ steht im Zusammenhang der ICF<sup>3</sup>, als Oberbegriff zur Funktionsbeeinträchtigung unter Bezugnahme der Kontextfaktoren (Körperfunktionen und -strukturen, Störungsbegriff: Schädigung (Funktionsstörung, Strukturschaden), Aktivität und Teilhabe). Die Teilhabe mit ihrer Beeinträchtigung bezieht sich auf die Wechselwirkung zwischen der körperlichen Beeinträchtigung oder allgemein dem gesundheitlichen Problem nach ICD<sup>4</sup> einer Person und ihren Umweltfaktoren (z.B. materielle und soziale Umwelt und darin befindliche Werte, Hilfsmittel, Unterstützung und Beziehungen, Infrastruktur) [8, S. 51].

---

<sup>1</sup> Aptitude-Treatment-Interaction

<sup>2</sup> Response-to-Intervention

<sup>3</sup> International Classification of Functioning, Disability and Health in deutscher Übersetzung als „Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit“

<sup>4</sup> International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems

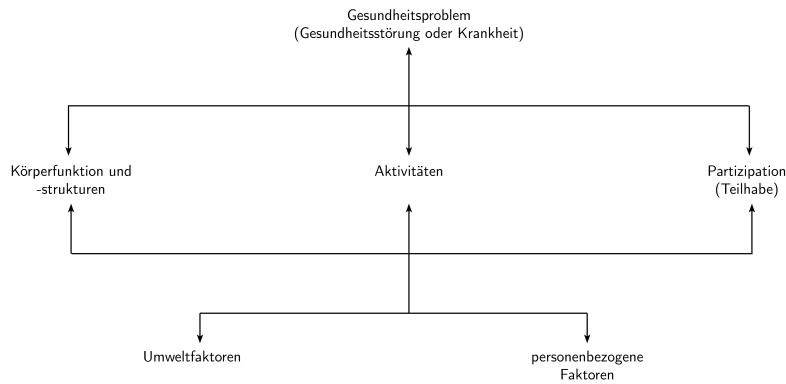


Abbildung 6: Wechselwirkungen zwischen den Komponenten der ICF

Quelle: [8, S. 51]

Im weiteren Verlauf wird ein Überblick zu den Förderschwerpunkten sowie einigen Interventionsmaßnahmen gegeben, die innerhalb der „Institution Schule“ sinnvoll sind.

## 1.2 Hören

### 1.2.1 Übersicht

Eine Hörschädigung wird in Schwerhörigkeit (in unterschiedlichen Graden), Hörrestigkeit und Taubheit (Gehörlosigkeit) unterteilt. Die Taubheit wird dahingehend unterteilt, zu welchem Zeitpunkt die Taubheit einsetzte [9, S. 27]. Leonhardt beschreibt in ihrem Lehrwerk verschiedene Beispiele von Hörgeschädigten und macht dadurch deutlich,

*[...] dass die Auswirkungen und das individuelle Erleben, „hörgeschädigt zu sein“, sehr verschieden sein kann. Sie machen zugleich deutlich, dass die Bezeichnung „hörgeschädigt“ begrifflich unterschiedliche Störungen des Hörorgans zusammenfasst. Darüber hinaus weist praktisch jeder Hörgeschädigte hinsichtlich seines Hörschadens und seiner kommunikativen Situation individuelle Unterschiede und Auffälligkeiten auf [...].“ [9, S. 20].*

Diese Beeinträchtigung hat weitere Folgen auf der sprachlichen (Wahrnehmung und Verfügbarkeit von Sprache sowie das Sprechen und die Kommunikation) und psychosozialen Ebene (Wahrnehmung und das Verstehen der sozialen sächlichen Umwelt) [10, S. 56]. Aus den Problemen des Hörens, mit der Unterscheidung von Gehörlosen und Schwerhörigen, ergeben sich unterschiedliche didaktische und methodische Vorgehensweisen, insbesondere in der Sprachentwicklung [11, S. 166]. Daraus wiederum ergeben sich behinderungsgerechte Fördermaßnahmen, die im Nachfolgenden betrachtet werden.

### 1.2.2 Interventionsmöglichkeiten

Ziel ist es, dass die Betroffenen sozial in der Gesellschaft anerkannt werden. Eine Hörschädigung liegt dann vor, wenn die Auswirkungen von so großem Ausmaß sind, dass das Kind sich nicht störungsfrei entwickeln bzw. entfalten kann. Die Störung im Verhältnis zwischen dem Kind und der Umwelt muss positiv beeinflusst werden, indem das Kind in seiner Entwicklung und Persönlichkeit gefördert wird. Heutzutage, wie auch in der Vergangenheit, wird unterschieden, ob für ein hörgeschädigtes Kind die Lautsprache auf dem natürlichen (imitativen) Weg möglich ist oder nicht. Wenn ein Kind die Lautsprache auf dem imitativen Weg erlernen kann, wird es der Gruppe der Schwerhörigen zugordnet. Ist dies nicht der Fall, gehört es der Gruppe der gehörlosen Kinder an. Es muss jedoch beachtet werden, dass die medizinischen Möglichkeiten heutzutage viel weiter sind, als im 19. Jahrhundert, als Bezahl eine Trennung der beiden Gruppen, auf der Grundlage des Weges des Spracherwerbes (natürlich- Schwerhörige, künstlich- Gehörlose) forderte. Durch die Entwicklung der Cochlea Implantate (CI) und deren kontinuierliche Weiterentwicklung, ist es bereits möglich, Kinder mit einem angeborenen Hörschaden vier Wochen nach der Geburt mit einem Cochlea-Implantat zu versorgen. Die Abgrenzung der Gruppen werden immer weiter diskutiert und neu beleuchtet, aufgrund von neuen Forschungsergebnissen aus dem Bereich der Medizin deren Kenntnisse sich über die Funktion des zentralen Hörzentrums stetig erweitern. Des Weiteren muss beachtet werden, dass Entwicklungsverläufe bei ähnlichen Hörschäden völlig unterschiedlich sein können. Ziel der Pädagogik ist es, die aus der Beeinträchtigung der entstehenden Konsequenzen zu kompensieren. Dabei soll die geistige, emotionale und soziale Entwicklung und Stabilität nachhaltig beeinflusst und gestärkt werden. Dies ist in dem Sinne zu verstehen, dass der Hörverlust nicht einfach kompensiert werden soll. Es soll die Persönlichkeitsentwicklung vielseitig und umfassend in den Mittelpunkt gestellt werden, sodass Gehörlose, Schwerhörige, CI-Träger, Mehrfachbehinderte mit Hörschaden und im Sprachbesitz Erstaubte fähig sind, sich durch das eigene Tätigsein zu verwirklichen, ihre Identität zu finden und sich sozial zu integrieren. Die Integration ist ein wechselseitiger Prozess und Bedarf der aktiven Hilfe und Akzeptanz von Hörenden [9, S. 22]. Dieser Integration wird durch die Teilhabe am gemeinsamen Unterricht in der „Institution Schule“ möglich, wobei Fördermaßnahmen vor allem in der Schriftsprache [10, S. 59], durch den unterschiedlichen Spracherwerb nötig sind.

### 1.3 Sehen

#### 1.3.1 Übersicht

In den Empfehlungen der KMK zum Förderschwerpunkt Sehen wird Sehschädigung wie folgt definiert:

*„Sehschädigungen zeigen sich in unterschiedlichen Arten und Graden der Herabsetzung des Sehvermögens bis hin zum Ausfall des Sehens bei Vollblindheit.“ [12, S. 2]*

Darin werden Blindheit und Sehbehinderung dem gleichen Förderschwerpunkt zugeordnet, dennoch gibt es zwischen den beiden Gruppen Unterschiede, sodass eine Abgrenzung erfolgen kann. Es können fünf Gruppen aufgelistet werden, die auf Kriterien der ophthalmologischen und sozialrechtlichen Relevanz beruhen:

1. höhere einseitige Einschränkung des Sehvermögens
2. mäßige beidseitige Einschränkung des Sehvermögens
3. Sehbehinderung → Fern- und Nahvisus 1/3 bis 1/20
4. hochgradige Sehbehinderung ---> Fern- und Nahvisus 1/20 bis 1/50
5. Blindheit oder der Blindheit gleichzustellende Beeinträchtigung des Sehvermögens → Fern- und Nahvisus weniger als 1/50 (vgl. Rath [13, S. 43]).

Personen der beiden ersten Gruppen können mithilfe von optischen Sehhilfen, wie einer Brille, ihre Sehfähigkeit deutlich verbessern, sodass es fast zu einer Normalisierung kommen kann. Die Gruppen drei und vier weisen Visuswerte zwischen 1/20 bis 1/50 auf und gehören damit zur Gruppe der Sehbehinderten. Es müssen dabei der Fern- und Nahvisus, wie auch Teilfunktionen des Sehens (Gesichtsfeldausmaß, Farbensehen, Lichtempfindlichkeit (Hell- und Dunkeladaptation), sowie das beidäugige Sehen unter dem Aspekt unterschiedlicher Sehfähigkeit beider Augen) berücksichtigt werden, um Kindern und Jugendlichen mit diesem sonderpädagogischen Förderbedarf die entsprechende Förderung zukommen zu lassen. Die fünfte Gruppe lässt sich nochmals in Vollblindheit, praktische Blindheit, Sehrestigkeit und hochgradige Sehbehinderung einteilen. Während der Diagnose ergeben sich Überschneidungsbereiche zwischen den Gruppen vier und fünf, die nach Kriterien der Beeinträchtigung des Sehbereiches, der Möglichkeit der selbstständigen Orientierung im unbekannten Raum und der Fähigkeit Informationen aus der Umwelt auf dem visuellen Weg aufzunehmen zu überprüfen sind [11, S. 191].

Sehbeschädigung	
Sehbehinderung	Blindheit oder dieser gleichzustellend
<b>Gruppe 1:</b> Höhere einseitige Einschränkung des Sehvermögens <b>Gruppe 2:</b> Mäßige beidseitige Einschränkung des Sehvermögens (Normalisierung durch optische Sehhilfen möglich) <b>Gruppe 3:</b> Sehbehinderung: Fern- und Nahvisus 1/3 bis 1/20	<b>Gruppe 5:</b> • Vollblindheit (selbst geringe Lichtempfindungen fehlen) • Sehrestigkeit (geringe Sehreste, Gesamtsehvermögen < 1/50)
<b>Gruppe 4 (Überschneidungsbereich mit Gruppe 5)</b>	
<b>4/5: Praktische Blindheit:</b> Fern- und Nahvisus 1/20 bei uneingeschränktem Gesichtsfeld Fern- und Nahvisus 1/10 bei eingeschränktem Gesichtsfeld (Visuelles Zurechtfinden möglich, aber keine berufliche Tätigkeit)	
<b>4/5: Hochgradige Sehbehinderung: Fern- und Nahvisus 1/20 bis 1/50</b> Prüfung von Beeinträchtigungen im weiteren Teilen des Sehens	
<b>Überprüfung nötig:</b> • in Teilbereichen des Sehens, • Orientierung im unbekannten Raum und • Fähigkeit Informationen auf visuellem Weg aufzunehmen	

Abbildung 7: Sehbeeinträchtigungen im Überblick

Quelle: nach [11, S. 191]

Diese Einbußen können vor allem Beeinträchtigungen in der sozialen Entwicklung, in der Selbstständigkeit, in der Mobilität und in den motorischen Fähigkeiten verursachen und sich negativ im sprachlichen Bereich sowie beim Lernen oder Spielen äußern.

### 1.3.2 Interventionsmöglichkeiten

In erster Linie werden in der Literatur [14, S. 246] Interventionsmöglichkeiten zur Teilhabe am Leben und gemeinsamen Lernen angeführt, wenn es sich um eine Sehbehinderung handelt, die nicht mittels Geräten gemindert werden kann. Auch mit entsprechenden optischen Hilfsmitteln bei Fehlsichtigkeit kann die Orientierung im Raum respektive das dreidimensionale Sehen eingeschränkt sein. Interventionsmöglichkeiten wären z.B. arretierte Schienen, an Bunsenbrennern, die eine Hilfe sind, um ein Reagenzglas in die Flamme zu führen (assistive Technologien) oder visuelle Hilfen zur Orientierung von Geräten im Raum (Arbeitsplatzgestaltung). Dazu ist jedoch Entwicklungsarbeit erforderlich, die bislang nicht erfolgt ist. Bisher ist ein alleiniges Arbeiten nur mit Barrieren möglich und die Inanspruchnahme von menschlicher Hilfe z.B. in Partnerarbeit notwendig, um bei bestimmten Handgriffen zu unterstützen (handlungsorientierte Vorgehensweisen).

Andere Maßnahmen sind z.B. die Vergrößerung der Schrift, Brailleschrift, Lupen oder digitale Endgeräte, die neben der Vergrößerungsoption eine Vorlesefunktion mittels entsprechender Applikationen ermöglichen.

## 1.4 Körperlich motorische Entwicklung

### 1.4.1 Übersicht

Unter der körperlichen Entwicklung verstehen wir das Heranwachsen von Organen und Körperteilen im Laufe der Ontogenese (zeitlicher Verlauf der Individualentwicklung). Die Motorik ist mehr als nur die Beweglichkeit, sie ist eine wichtige Dimension des Erlebens und Verhaltens im Sinne der Wahrnehmung, der Emotion, der Kognition und der Kommunikation. Die Wahrnehmung ist des Weiteren Bestandteil des sensomotorischen Systems mit der Bewegung. Durch die Wahrnehmung ändert sich die Bewegung und durch die Bewegung wird die Wahrnehmung ermöglicht. Neben der Sensomotorik ist für das menschliche Erleben und Verhalten die Soziomotorik von großer Bedeutung. Sie ist Ausdruck der Körpersprache (Mimik, Gestik, Pantomimik) und deren Wahrnehmung. In der Vergangenheit wurden Definitionen vereinfacht beschrieben, indem körperliche Behinderung mit einer körperlichen Schädigung gleichgestellt wurde. Die Definitionen basierten nur auf körperlichen Schädigungen und wurden klassifiziert. Jedoch war der Erklärungswert gering, denn eine körperliche Schädigung, muss nicht zu einer Behinderung führen. International wird eine Beeinträchtigung der körperlichen und motorischen Entwicklung mithilfe der ICF klassifiziert [15, S. 596].

*"Als körperbehindert wird eine Person bezeichnet, die infolge einer Schädigung des Stütz- und Bewegungssystems, einer anderen organischen Schädigung oder einer chronischen Krankheit so in ihren Verhaltensmöglichkeiten beeinträchtigt ist, dass die Selbstverwirklichung in sozialer Interaktion erschwert ist." [15, S. 598]*

Diese Definition umfasst die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten der ICF. Sie enthält die Bestimmungsmerkmale der Schädigung, der aus der Schädigung resultierenden Begrenzung oder Veränderung der Verhaltensmöglichkeiten sowie die Behinderung in Form der erschwerten Selbstverwirklichung und der eingeschränkten sozialen Teilhabe [15, S. 598].

Die Erscheinungsformen körperlicher Schädigungen werden in drei Bereiche eingeteilt: Schädigungen von Gehirn und Rückenmark, Schädigungen von Muskulatur und Knochengerüst und Schädigungen durch chronische Krankheit oder Fehlbildungen von Organen. Innerhalb dieser Einteilung werden Krankheiten klassifiziert und sollen im Folgenden aufgelistet werden.

Gehirn und Rückenmark	Muskulatur und Knochengerüst	chronische Krankheit oder Fehlbildungen von Organen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infantile Cerebralparese</li> <li>• Spina bifida</li> <li>• Querschnittslähmung</li> <li>• Schädel-Hirn-Trauma</li> <li>• Epilepsie</li> <li>• Multiple Sklerose</li> <li>• Poliomyelitis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Progressive Muskeldystrophie</li> <li>• Dysmelien</li> <li>• Amputationen</li> <li>• Osteogenesis imperfecta</li> <li>• Fehlstellungen der Wirbelsäule</li> <li>• Knochentumore/ Knochenentzündungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hämophilie</li> <li>• Chronisches Nierenversagen</li> <li>• Juvenile chronische Arthritis</li> <li>• Mukoviszidose/ zytische Fibrose</li> <li>• Verbrennungen</li> <li>• Angeborene Herz- und Gefäßfehler</li> </ul>

Tabelle 1: Übersicht zur Klassifikation der Schädigungen von Körperfunktionen

Quelle: nach [15, S. 599]

Konsequenzen, die sich aus der körperlichen und motorischen Beeinträchtigung ergeben, sind mannigfaltig und betreffen alle Ebenen des Lebens, z.B. eingeschränkte Mobilität, veränderte oder eingeschränkte Informationsaufnahme, erschwert die Entwicklung eines Körperbewusstseins, beeinträchtigte Auge-Hand-Koordination, beeinträchtigte Raum-Lage-Orientierung, herabgesetzter oder übersteigerter Krafteinsatz, eingeschränkte physische und psychische Belastbarkeit [10, S. 99].

Daraus ergeben sich Beeinträchtigungen, die mit der „Institution Schule“ im direkten Zusammenhang stehen. Kinder des Förderschwerpunktes körperlich-motorische Entwicklung zeigen Beeinträchtigungen in Form von schneller Ermüdung, eingeschränkter Konzentrationsfähigkeit, isolierten Interessenbereichen, vorgegebenen Bedürfnisverzichten, erschwerter Aufbau eines Selbstwertgefühls und einer realistischen Selbsteinschätzung, übersteigerter Angstbereitschaft in Alltagssituationen, regressiver oder aggressiver Handlungsschemata, schwer versteh- und interpretierbaren Sprachhandlungen, begrenzter Eigenaktivität, personeller Abhängigkeit, Erleben von Bevormundung oder Überbehütung, eingeschränkter Teilnahme an Freizeitangeboten und eingeschränkten beruflichen Perspektiven [10, S. 99].

#### 1.4.2 Interventionsmöglichkeiten

Um einen gemeinsamen Unterricht zu gestalten, an dem Kinder und Jugendliche mit einer körperlichen Beeinträchtigung teilnehmen können, ohne dass eine altersgerechte Entwicklung vorliegt, müssen gewisse Bedingungen sichergestellt werden. Zu diesen Bedingungen zählen nach Leigemann et. al. [16] folgende Bereiche:

**Inhaltlich:**

- Orientierung an Bildungszielen/ gleiche Bildungsgänge
- eigenständiger Bildungsauftrag in Bezug auf die Lebenswirklichkeit und den Lebensperspektiven
- Anpassung der schulischen Anforderungen (Arbeitstempo, körperliche und seelische Belastbarkeit)
- Entspannungs- und Ruhephasen
- Bewegungsmöglichkeiten
- flexible Organisation des Unterrichts und der Lernkontrolle

**Personell:**

- therapeutische und pflegerische Hilfe (Unterrichtsbegleitend/ Arbeitsassistenz)

**Baulich- und räumliche Anpassungen:**

- Zugänge zu Räumlichkeiten (Klassenraum, Fachraum, Kantine, Toilette)
- Arbeitsplätze (z.B. Höhenverstellbare Tische)

**Sachliche:**

- Hilfsmittel (z.B. elektronische Kommunikations- und Schreibhilfen).

Insbesondere der letzte Punkt wird mithilfe von 3D-Druck vielseitig unterstützt z.B. durch Griffverdickungen für Stifte [17, S. 81].

Der Unterricht mit Kindern und Jugendlichen mit einer Körperbehinderung basiert auf unterschiedlichen didaktischen Modellen und Entwürfen aus der allgemeinen Unterrichtsforschung. Diese sind nicht statisch, sondern entwickeln sich immer weiter, aufgrund von Veränderungen, die sich auf Schule und Unterricht auswirken [10, S. 105].

## 1.5 Emotionale und soziale Entwicklungsstörung

### 1.5.1 Übersicht

In der Fachliteratur werden Verhaltensstörungen in Bezug auf verschiedene Faktoren unterschiedlich definiert. Dabei sind vor allem die Blickwinkel der Autoren auf dieses Themengebiet abweichend. In den Definitionen werden u.a. oft nur ein oder mehrere Teilaspekte (schulische Situation, Verhaltensverursachungsaspekte, Umweltbezüge oder Ausprägungsgrade) erfasst. So kann eine Definition sehr allgemein oder sehr speziell ausgelegt sein.

Da sich diese Arbeit auf den schulischen Aspekt bezieht, ist in diesem Kontext die Definition nach Havers zu nennen:

*"Unter einer Verhaltensstörung versteht man eine Regelübertretung, die vom Handelnden selbst oder von jemandem, der sich ihm gegenüber in einer Machtposition befindet, als störend und unangemessen beurteilt wird." [11, S. 322].*

Havers Definition basiert auf fünf Kategorien, die ein abweichendes Verhalten von Schüler:innenn zeigen:

- Verstöße gegen **Arbeitsanforderungen** der Schule (z.B. Faulheit, Konzentrationsstörungen)
- Verstöße gegen **Interaktionsregeln im Umgang mit anderen Schüler:innen** (z.B. körperliche Gewalt, Entwenden von Eigentum, Beleidigungen)
- Verstöße gegen **Interaktionsregeln im Umgang mit Lehrkräften und weiterem Schulpersonal** (z.B. Provokation, Widerspruch)
- Verstöße gegen die **Normen von Schulkasse und Schule** (z.B. Lästern, Verspätungen/ Schwänzen des Unterrichts, körperliche Unruhe, Betrug bei Prüfungen/ Lernerfolgskontrollen)
- residuale (als Folge einer Krankheit) **Verhaltensabweichungen** (z.B. Nägelkauen, Haareausreißen, häufiges Weinen, motorische Unruhe) [11, S. 322].

Eine detailliertere Möglichkeit, die Gefühls- und Verhaltensstörung zu differenzieren, ist die nach der introvertierten und extrovertierten Störungsform, die sowohl in Rein- als auch als Mischform, auftreten kann. Die extrovertierten Störungen wurden in das DSM IV aufgenommen („conduct disorder“), während die introvertierten Erscheinungsformen unter spezifischen psychischen Störungsbildern verortet wurden. Zu den introvertierten Störungsformen zählt unter anderem die depressive Störung. Ein weiteres Klassifizierungssystem stellt das ICD-10 dar. Hier werden im Kapitel 5 Entwicklungsstörungen klassifiziert. Unter dem Bereich F90-98 werden Verhaltens- und emotionale Störungen mit Beginn der Kindheit und Jugend aufgeschlüsselt [15, S. 505].

In den 1950er Jahren führte Bower in Kalifornien mit ca. 200 Schüler:innenn eine Studie zu dem Bereich der Erscheinungsformen durch [15, S. 504]. Kinder mit Gefühls- und Verhaltensstörungen zeigten im Vergleich zu ihren Klassenkamerad:innen unterschiedliche Verhaltensweisen:

1. „Lerndefizite, die durch intellektuelle, sensorische und gesundheitliche Einflussfaktoren nicht erklärt werden konnten.“
2. Ein Unvermögen, befriedigende zwischenmenschliche Beziehungen zu Mitschülern und Lehrern aufzubauen und zu erhalten.
3. Unangemessenes Verhalten und auffällige emotionale Erlebnisverarbeitung unter Normalbedingungen.
4. Eine allgemeine und dauerhafte Stimmung der Unzufriedenheit oder der Depression.
5. Eine Tendenz, körperliche Symptome, Furcht oder Angst im Zusammenhang mit schulischen und persönlichen Problemen zu entwickeln.“ [15, S. 504]

Aufgrund dieser Auffälligkeiten im emotional-sozialen Bereich ergeben sich Besonderheiten, die den Schulalltag prägen und Einfluss auf das Unterrichtsgeschehen haben. In Bezug auf den Unterricht sollen in der folgenden Tabelle die bedeutendsten Formen von Auffälligkeiten aufgeführt werden.

Bereich	Formen von Auffälligkeiten
<b>Sozialverhalten und Emotionen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhalten gegenüber Mitschülern und Erwachsenen ist unangepasst bzw. oft distanzmindert.</li> <li>• Ein- und Unterordnen in Gruppen oft sehr schwierig</li> <li>• Probleme bei der Einhaltung von Normen und Regeln</li> <li>• Misserfolgsorientierung</li> <li>• Stimmungsschwankungen und unvorhersehbare Affektschwankungen</li> <li>• geringe Frustrationstoleranz</li> <li>• Vertrauen in die eigene Leistung ist geschwächt</li> </ul>
<b>Handlungssteuerung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringes Instruktionsverständnis</li> <li>• komplizierte Handlungen werden auf einfache Abfolgen reduziert</li> <li>• planloses und oberflächliches Vorgehen</li> <li>• oft sind keine logischen Handlungsabfolgen erkennbar, eher sprunghaft und chaotisch</li> <li>• unüberlegte, vorschnelle und wenig kontrollierbare verbale und motorische Reaktionen</li> <li>• Grob- und Feinmotorik können eingeschränkt sein.</li> </ul>
<b>Belastbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• leichte Ermüdung</li> <li>• Antriebsschwäche und Antriebsstärke wechseln sich ab</li> <li>• fehlende Motivation und dadurch beeinflusstes, geringes Durchhaltevermögen</li> <li>• Schwankungen im Arbeitstempo und interessenbezogenes Arbeitstempo</li> </ul>

<b>Motivation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lern- und Leistungsbereitschaft ist gering</li> <li>• Leistungen ungenügend trotz intellektueller Fähigkeiten</li> <li>• Große Defizite in schul- und fachspezifischen Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten</li> <li>• Leistungsverweigerung</li> <li>• Ausweichen von Anforderungen</li> <li>• Bereitschaft der Verantwortungsübernahme bzw. Ergreifen der Initiative ist gering</li> </ul>
<b>Aufmerksamkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufmerksamkeit gegenüber eines Gegenstandes schwankt von starker Fokussierung bis hin zu vollständigem Desinteresse, wenig gerichtet, oft sprunghafter Wechsel auf andere Gegenstände,</li> <li>• keine/ geringe Ausdauer</li> <li>• begonnene Tätigkeiten werden oft nicht beendet</li> </ul>
<b>Sprache</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprachverständnis oft nicht altersentsprechend</li> <li>• geringer Wortschatz</li> <li>• eingeschränkte Bereitschaft zur Kommunikation</li> </ul>
<b>Besonderheiten im Lern- und Leistungs-verhalten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungs- und Mitarbeitbereitschaft gering</li> <li>• Leistungsdefizite durch grundlegende Beeinträchtigung in Entwicklungsbereichen</li> <li>• Entwicklungsrückstände (Rückstellung, unregelmäßige Schullaufbahn)</li> <li>• Leistung gemindert durch andere Aktivitäten (Streitklärung und weiteren außerschulischen Vorfällen)</li> <li>• negative Beeinflussung von Beeinträchtigungen untereinander, sodass die Leistungsfähigkeit gemindert ist und ein Bild eines Schülers mit Förderschwerpunkt Lernen entstehen kann.</li> <li>• schwer erkennbar, ob der Schüler die Aufgaben nicht bearbeiten kann oder will.</li> </ul>

Tabelle 2: Formen von Auffälligkeiten in verschiedenen Bereichen

Quelle: nach [10, S. 347] und [18, S. 13]

Aus diesen Verhaltensauffälligkeiten ergeben sich Konsequenzen und darauf reagierende Interventionen für den Chemieunterricht.

### 1.5.2 Interventionsmöglichkeiten

Auf den Bereich des Sozialverhaltens kann eine Lehrkraft durch die erworbenen Kompetenzen ihrer pädagogischen Ausbildung reagieren und muss eine Beziehung zu den Kindern und Jugendlichen aufbauen, um sie sozial und emotional aufzufangen. Die Lehrperson stellt neben vielen anderen Personen aus dem unmittelbaren Umfeld einen Bezugspunkt dar, auf den sich die Schüler:innen verlassen müssen und die innerhalb der Schule einen „sicheren

Hafen“ darstellt. Ihre Aufgabe ist es, die Kinder und Jugendlichen anzuerkennen, zu motivieren und das Vertrauen in ihre eigenen Fähigkeiten sowie ihr Selbstwertgefühl zu stärken. Im Bereich des Chemieunterrichts müssen sich die Kinder und Jugendlichen an soziale Normen und Regeln halten. Dies betrifft neben der Ein- und Unterordnung in Gruppenarbeitsphasen ebenso die Einhaltung von Handlungsabläufen, Handlungsvorschriften und Sicherheitsmaßnahmen während der Durchführung von Versuchen. Hier besteht die Gefahr, dass sich betroffene Schüler:innen selbst oder andere gefährden oder gar verletzen. Bei Gefährdung anderer Schüler:innen muss der Versuch abgebrochen werden und die verursachende Person wird vom Experimentieren ausgeschlossen. Die theoretische Bearbeitung des Gebietes wäre eine Alternative, die vorbereitet und dem Anforderungsniveau entsprechend differenziert werden muss.

Wie müssen Unterrichtsmaterialien bzw. Versuchsdurchführungen für den Förderschwerpunkt emotionale und soziale Entwicklungsstörung gestaltet sein? Auf diese Fragestellung wird konkret im vierten Kapitel eingegangen. Im Folgenden sollen, da sich die allgemeinen Interventionen mit denen des Förderschwerpunkts Lernen gleichen, spezielle Interventionsmöglichkeiten und Konsequenzen für Schüler:innen mit einer emotionalen und sozialen Entwicklungsstörung beschrieben werden, die die Anwendung im Unterricht finden können. Zu diesen Ansätzen zählen u.a. lerntheoretische Maßnahmen nach Havers, sowie das Problemlösetraining und die Methode der Selbstinstruktion.

Havers [19] zeigt für die Schule Verhaltensmodifikationen auf, präventive, unmittelbare und längerfristige systematische Maßnahmen, die die Lehrkraft betreffen. Diese genannten Maßnahmen sind Gegenstand der Forschung der Allgemeinen Schulpädagogik und werden aufgrund dessen nicht weiter beschrieben. Schulorganisatorische Maßnahmen, wie Ordnungs- und Erziehungsmaßnahmen, sind seitens des zuständigen Ministeriums und der Schule geregelt [11, S. 343]. Eine Möglichkeit für den Chemieunterricht ist durch langfristige, systematische Maßnahmen, z.B. „Tätigkeitsverstärker“, gegeben. Beliebte Tätigkeiten können von Schüler:innen des Förderschwerpunktes emotionale und soziale Entwicklungsstörung übernommen werden. So können chemieaffine Schüler:innen als Fachhelfer:innen eingesetzt werden, um beim Auf- und Abbau von Versuchen die Lehrkraft zu unterstützen. Die Prämisse ist, zum einen das Prinzip der Freiwilligkeit und zum anderen dem Interesse einer solchen Aktivität nachzugehen. Wenn Schüler:innen als Fachhelfer:innen eingesetzt werden, kann

die aufgetragene Aufgaben gleichzeitig als „sozialer Verstärker“ in Bezug auf Lob, Beachtung und Wertschätzung wirken.

Die Anwendung verhaltensmodifikatorischer Techniken enthebt die Lehrkraft nicht aus der Notwendigkeit, eine positive Beziehung zu dem Kind aufzubauen. Außerdem steht die Variante des instrumentellen Einsatzes der Verhaltensmodifikation oft in der Kritik und wird auch als Manipulationsmethode bezeichnet. Bei dieser Variante der klassischen Verhaltenstherapie wird der Mensch auf sein Reiz-Reaktions-System reduziert. Das Problemlösetraining und die Methode der Selbstinstruktion beziehen sich auf die kognitive Verhaltenstherapie, bei der die Kognitionen des Menschen für die Entstehung von Fehlverhalten bzw. von Problemsituationen mit einbezogen werden [11, S. 344].

Bei dem Problemlösetraining ist das Ziel, dass das Kind spielerisch mithilfestellungen neue Strategien erlernen kann, Problemsituationen rechtzeitig zu erkennen und diese auf angemessene Weise anzugehen und zu bewältigen, um sein Selbstvertrauen in Hinblick auf deren Bewältigung zu stärken. Diese Variante ist jedoch nicht für den Unterricht geeignet, sondern für den Nachgang des Unterrichts [11, S. 344].

Die Methode der **Selbstinstruktion** stellt eine Ergänzung zu dem Problemlösetraining dar und hat zum Ziel, eine Verbesserung im Problemverhalten und in der Problemlöseeffizienz bei impulsiven Kindern zu erreichen. Diese Variante kann während des Unterrichts umgesetzt werden. Dabei sollen die Handlungsabläufe und Einzelkognitionen begleitend versprachlicht werden, um dem aufkommenden Fehlverhalten während der Problemlösung, aufgrund von undifferenzierten und/ oder fehlerhaften handlungsbegleitenden Kognitionen, entgegenzuwirken. Die Methode der Selbstinstruktion erfolgt in fünf Schritten:

1. Die Lehrkraft führt eine Aufgabe aus, welche deutlich hörbar versprachlicht und vom Kind beobachtet wird bzw. das Kind sich selbst Handlungsanweisungen erteilt.
2. Das Kind wiederholt die Aufgabe, angeleitet von der Lehrkraft, welche die Anweisungen gibt.
3. Bei erneuter Bearbeitung der Aufgabe, gibt sich das Kind selbst hörbare Handlungsanweisungen/ kommentiert seine Handlungen.
4. Die Selbstinstruktion zur Aufgabendurchführung wird vom Kind nur noch geflüstert.

5. Im letzten Schritt bearbeitet das Kind die Aufgabe mithilfe einer „innerlich gesprochenen“ Anleitung/ Kommentierung (verdeckte Selbstanleitung). [11, S. 346]

Somit lernen die Schüler:innen, sich auf eine Aufgaben zu konzentrieren und einen Fokus zu setzen. Sie entwickeln ein Bewusstsein für das Problem bzw. für die Aufgaben und erkennen Schwierigkeiten, die sie besser einschätzen können. Außerdem nähern sich Schüler:innen mit dem sonderpädagogischen Förderbedarf der Aufgabenlösung, indem sie eine angemessene Arbeitsstrategie durch das „laute Denken“ der Lehrkraft lernen und alle bzw. möglichst viele Aspekte beachtet werden müssen. Die kognitiven Abläufe werden durch die sprachliche Wiedergabe besser wahrgenommen. Wichtige Punkte sind dabei der kontrollierte Umgang mit der kognitiven Impulsivität und mit den eigenen Fehlern besser umzugehen. Dies bedeutet, dass die Frustrationstoleranz erhöht wird. Bei einem Auftreten eines Fehlers während der Handlungskette soll diese vom Lernenden nicht abgebrochen werden, sondern mithilfe von weiteren Instruktionen ein neuer Versuch durchgeführt werden, da die Möglichkeit auf Erfolg besteht. Bedeutend sind Rückmeldungen bzw. Überprüfungen während und nach der Aufgabenbearbeitung seitens der Lehrkraft bei Erfolg, wie auch bei Misserfolg. Während der Aufgabenbearbeitung können die Lernenden durch „Zwischenerfolge“ motiviert werden [11, S. 346].

Bei den Schüler:innen spielt auch das Alter und die Intelligenz eine signifikante Rolle. Nach Wagner [20] müssen die Instruktionen der Lehrkraft bei jüngeren Lernenden differenzierter sein, als bei älteren und intelligenteren Kindern. Außerdem sollten die Instruktionen bei jüngeren Kindern spannend gestaltet werden [11, S. 346]. Abschließend ist festzustellen, dass die Verhaltenstherapie zwar zu keiner ganzheitlichen Veränderung bei Kindern mit einer Verhaltensstörungen führen, dennoch stellt sie einen symptom- oder funktionsorientierten Ansatzpunkt für den Unterricht dar und ist in Bezug auf umfassende Interventionskonzepte, wie anfänglich genannt, sinnvoll und notwendig [11, S. 346].

## 1.6 Geistige Entwicklung

In diesem Abschnitt soll der Förderschwerpunkt geistige Entwicklung in Bezug auf die Definition und die Interventionsmöglichkeiten näher betrachtet werden. Es wird kein Beitrag zur Diskussion über das Dilemma der exakten wissenschaftlichen Beschreibung einer Schädigung und der sozial-ethischen Beachtung der menschlichen Würde geleistet. Der Fokus liegt auf der

Betrachtung der bisherigen in der Fachliteratur publizierten Definitionen, dabei werden vor allem sachlich und nüchtern die physischen und psychischen Gegebenheiten dargelegt.

### 1.6.1 Übersicht

Definitionen für den Förderschwerpunkt geistige Entwicklung sind von zahlreichen Autoren in den unterschiedlichsten Kontexten publiziert worden. Mit dem Blick auf den schulischen Hintergrund ist die Definition nach Bach zu nennen:

*"Personen, deren Lernverhalten wesentlich hinter der auf das Lebensalter bezogenen Erwartung zurückbleibt und durch ein dauerndes Vorherrschen des anschauend-vollziehenden Aufnehmens, Verarbeitens, und Speicherns von Lerninhalten und eine Konzentration des Lernfeldes auf direkte Bedürfnisbefriedigung gekennzeichnet ist, was sich in der Regel bei einem Intelligenzquotienten von unter 55/60 findet" (199b, 92.)."* [11, S. 213]

Das wichtige Merkmal der Definition von Bach ist, dass das Lernverhalten bezogen auf ihr Lebensalter wesentlich hinter dem Erwartungsbild zurückbleibt. Gleichzeitig bezieht er sich nur auf das Lernverhalten der entsprechenden Personen. Zudem sprach Bach 1968 von der *"Erreichung der seelisch-geistigen Vier-bis Achtjährigkeit"*[11, S. 214].

Eine für den schulischen Kontext genauer formulierte Definition ist den Empfehlungen zum Förderschwerpunkt geistige Entwicklung der KMK zu entnehmen:

*"Kinder und Jugendliche mit einer geistigen Behinderung zeigen unterschiedliche Erscheinungsbilder in den verschiedenen Entwicklungsbereichen. Sie benötigen besondere Hilfen bei der Entwicklung von Wahrnehmung, Sprache, Denken und Handeln sowie Unterstützung zur selbstständigen Lebensführung und bei der Findung und Entfaltung der Persönlichkeit. Vielfach wird die Lern- und Lebenssituation dieser Kinder und Jugendlichen durch körperliche, psychische und soziale Beeinträchtigungen zusätzlich erschwert."* [10, S. 266]

Nach der WHO werden die mentalen Retardierungen unter dem Aspekt des Intelligenzquotienten eingeteilt. Der Intelligenzquotient dient nur der groben Orientierung und gibt keinen Aufschluss über die Lernansprüche, die ein Kind mit einer geistigen Behinderung einfordern kann [21, S. 131].

*„Unter Intelligenz versteht man die allgemeine Fähigkeit zum Lernen, Denken oder Problemlösen, die sich insbesondere in jenen Situationen zeigt, die für eine*

*Person neu bzw. unvertraut sind. Gemessen wird die allgemeine Intelligenz über standardisierte und normierte Testverfahren, in welchen mit vorgegebener Zeitbegrenzung Aufgaben zu bearbeiten sind, die von Experten, den Testentwicklern, als besonders kritisch für die Bewertung vorhandener Intelligenz betrachtet werden. Die individuell gemessene Intelligenz wird im Sinne einer Relativierung auf eine Vergleichsgruppe als Intelligenzquotient (IQ) angegeben. Ein IQ von 100 entspricht in einem normierten Intelligenztest der erwarteten Durchschnittsleistung der Gleichaltrigen in dem jeweiligen Testverfahren.“ [22, S. 84]*

Die WHO entwickelte zudem ein Drei-Stufen-Schema, in dem das Entwicklungsalter (EA) mit angegeben ist. Das Entwicklungsalter gibt an, welches maximal zu erreichende Entwicklungsniveau, bei entsprechender Förderung des Individuums, zu erwarten ist. In der folgenden Tabelle sind die Grade der geistigen Unterentwicklung dargestellt. Nach Wüllenweber [21, S. 121] und der WHO [23, S. 376] werden vier Unterteilungen vorgenommen. Vernoiji bezieht sich im Bereich des Entwicklungsalters einer geistigen Behinderung auf drei Bereiche [11, S. 214]. Das Entwicklungsalter ist deshalb von Bedeutung, da nach Piagets Einteilung ungefähr abgeschätzt werden kann, in welcher kognitiven Phase sich die Kinder befinden.

Grad geistiger Unterentwicklung	Bereiche des Intelligenzquotienten (IQ) und des Entwicklungsalters (EA)	
schwere Unterentwicklung/ schwerst geistige Behinderung	IQ EA	< 20 Max. 2 Jahre
schwere geistige Behinderung	IQ	20-34
mäßige/ mittelschwere Unterentwicklung/ geistige Behinderung	IQ EA	35-49 3-7 Jahre
leichte Unterentwicklung/ geistige Behinderung	IQ EA	50-69 12 Jahre

**Tabelle 3: Grade geistiger Unterentwicklung/ Behinderung**  
**EA-Werte: nach [11, S. 214] IQ-Werte: nach [23, S. 376]**

Die Einteilung der Intelligenzquotienten muss um die Borderline-Fälle erweitert werden. Es handelt sich zwar um Grenzfälle der geistigen Behinderung, und sie gelten eher als lernbehindert, sind aber dennoch von einer geistigen Retardierung betroffen [11, S. 214]. Ebenfalls wird mithilfe dieser Tabelle deutlich, dass Chemiefachlehrer:innen eher mit Schüler:innen der

leichten geistigen Behinderung bis eventuell der mittelschweren geistigen Behinderung konfrontiert werden. Nicht zu rechnen ist mit Kindern und Jugendlichen, die eine schwere bzw. schwerste geistige Behinderung haben.

Personen mit einer geistigen Unterentwicklung zeigen Auffälligkeiten in verschiedenen Bereichen. Sie äußert sich in einer eingeschränkten Kognition und somit in den Bereichen der Wahrnehmung und der Sprache. Außerdem sind Einschränkungen in der Motorik zu nennen [21, S. 132]. Die Beeinträchtigungen in der Kognition hat neben den Auswirkungen auf die Wahrnehmung, auch solche auf das Denken und das Gedächtnis und somit auf das Lernverhalten. Die Auffälligkeiten in der Sprache spiegeln sich in dem Spracherwerb, dem Wortschatz, dem Sprachverständnis und in den Sprachstörungen wider [18, S. 27]. Redebeeinträchtigungen wie Stottern, Poltern oder dysphärische Störungen können ebenfalls mit einer geistigen Behinderung einhergehen. Defizite in der Motorik sind durch Einschränkungen in der Grob- und Feinmotorik, dem Gleichgewicht und der Koordination zu erkennen [21, S. 132]. Zwei nicht zu vernachlässigende Punkte sind das Sozialverhalten und die Emotionen (besondere Abhängigkeit, übergroße Scheu, auffallende Zugänglichkeit, zu geringe Distanz zu Fremden, der Situation nicht angemessene emotionale Reaktion entweder zu stark oder zu gering) der Kinder und Jugendlichen, sowie die Selbstversorgung in der Alltagsverrichtung, in der sie oft Hilfe benötigen (Toilettenbenutzung, Körperhygiene, Essenseinnahme usw.) [18, S. 27].

Sparte der Einschränkung	Beschreibung
Kognition	<p><b>Wahrnehmung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• reduziertes Tempo der Informationsaufnahme</li> <li>• eingeschränkter Wahrnehmungsumfang</li> <li>• lückenhafte Wahrnehmung</li> <li>• Differenzierungsschwäche von schwachen/ ähnlichen Reizen</li> </ul> <p><b>Denken:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• langsames Denken</li> <li>• halten an Gewohntem, Bekannten, Geübtem fest; geringe geistige Beweglichkeit</li> <li>• mangelnde Umstellungsfähigkeit, kaum fähig selbstständige Lösungsstrategien zu entwickeln</li> <li>• unselbstständig, an Impulse, Hilfen, Führungen gebunden</li> <li>• oberflächliches Handeln</li> <li>• mangelhafte Zielstrebigkeit</li> <li>• geringe Denkaktivität</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>praktisch-gegenständliches Handeln, präoperationale Phase bis konkret-operationale Phase</li> <li>sprachlich-begriffliche Ebene auf elementare Art und Weise</li> <li>große Schwierigkeiten bei hohen geistigen Operationen (Kritisieren, Abstrahieren, Urteilen etc.)</li> <li>Auffassungsfähigkeit gemindert</li> <li>eingeschränktes Aufgabenverständnis</li> <li>Aufgabengliederung kann nicht selbstbestimmt erfolgen</li> </ul>
	<p><b>Gedächtnis:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>erschwertes Einprägen, Reduzieren des Umfanges, Einprägen vor allem mechanisch und anschaulich.</li> <li>viele Übungen/ Wiederholungen zur Überführung vom Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis nötig</li> <li>ungeordnete Speicherung neuer Informationen, Vergessensquote hoch</li> <li>ungenaue, lückenhafte, ungeordnete Reproduktion</li> </ul> <p><b>Lernverhalten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>situationsverhaftete Aufnahmefähigkeit</li> <li>handlungsgebunden</li> <li>eingeschränkte Strukturierung</li> </ul> <p>Lerndynamik (gering Zielbezogen, geringes Durchhaltevermögen, Ablenkungsbereitschaft groß, Spontanität gering oder sehr erhöht)</p>
<b>Sprache</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spracherwerb verzögert</li> <li>Lernverlauf verlangsamt (Sprachgebrauch in Inhalt und Form mangelhaft)</li> <li>Bedeutung, Wort- und Begriffsschatz wird nicht altersgerecht benutzt</li> <li>Sprachverständnis mangelhaft</li> <li>Sprachstörungen</li> <li>Aussprache verwaschen</li> <li>Erwerb der Lautsprache mitunter nicht möglich</li> </ul>
<b>Motorik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>verlangsame, schwerfällige, ungeschickte Bewegungsabläufe</li> <li>Feinmotorik eingeschränkt</li> <li>Bewegungen mit Gleichgewichtsbeherrschung problembehaftet</li> <li>Koordinationsfähigkeit eingeschränkt vor allem in der Feinmotorik</li> <li>Bewegungsinteresse niedrig</li> </ul>

**Tabelle 4: Auswirkungen auf schulisches Erleben bei Kindern und Jugendlichen im Förderschwerpunkt emotional-soziale Entwicklung**

Quelle: nach [18, S. 27]

### 1.6.2 Interventionsmöglichkeiten

Das Ziel der Chemie ist es, einen erkennbaren Beitrag zur Allgemeinbildung zu leisten und naturwissenschaftliche Phänomene zu erklären. Dabei müssen die geistigen Voraussetzungen berücksichtigt werden. Kinder mit einer mäßigen bis schweren Unterentwicklung müssen von offensichtlichen Gefahrenquellen ferngehalten bzw. aktiv unterstützt werden, um Verletzungen zu vermeiden. Schüler:innen mit einer geistigen Entwicklungsstörung wird nachgesagt, dass sie nur selten die formal-operationale Phase des Denkens nach Piaget erreichen. Mit der entsprechenden Förderung und Begleitung im Fachunterricht Chemie können sie mit dem entsprechenden Unterstützungsangebot Basiskonzepte wie das Teilchenmodell zur Erklärung von Aggregatzuständen und weiteren Phänomen oder der chemischen Reaktion anwenden [24, S. 150]. Um das Ziel der weitestgehenden Selbstständigkeit zu erreichen, ist zu empfehlen, alltagsrelevantes Wissen zu thematisieren und zu vermitteln. Da diese Kinder eher in der pädagogischen Förderung der Lernbehinderung bzw. dem Förderschwerpunkt Lernen anzusiedeln sind, wird dort näher eingegangen, wie Kinder mit einer Lernbehinderung im Chemieunterricht gefördert werden können.

Wichtig ist, dass Kinder mit einer geistigen Behinderung wesentlich häufiger Unterstützung und Anregung benötigen. Außerdem sind kleine Lerngruppen eher für die Betroffenen geeignet. Des Weiteren bleiben sie lange auf der Stufe des handlungsbezogenen Lernens [21, S. 131].

## 1.7 Sprache

Um einen ersten Einblick in den Förderschwerpunkt Sprache und Kommunikation zu erlangen, ist es notwendig, zuerst die Begriffe zu erläutern.

### 1.7.1 Übersicht

Die Beeinträchtigung der sprachlichen Kommunikation wird in Sprachstörung und Sprachbehinderung unterteilt.

Eine Sprachstörung liegt dann vor, wenn die Muttersprache nicht oder normabweichend entwickelt ist. Daraus folgt eine Störung der Fähigkeit des regelmäßigen Gebrauchs. Sie erscheint in Form von Einschränkungen, Mangel, Verlust oder Desintegration der sprachlichen Prozesse. Betroffen ist dabei die linguistische und phonetische Ebene der Sprache [15, S. 401]. Die Bezeichnung einer Sprachbehinderung bezieht sich auf die Komplexität der

Beeinträchtigung. Sie umfasst, neben der Einschränkung oder des Fehlens der Sprachfähigkeit, die belastende personelle und soziale Gesamtsituation. Dies kann sich unterschiedlich äußern in Form von Hemmung und Verformung der Persönlichkeits- und Sozialentwicklung sowie in der Beeinträchtigung des Lern-, Leistungs-, und Sozialverhaltens. Nicht nur die intrapersonelle Kommunikation (Selbstkommunikation) ist unter diesen Umständen betroffen, sondern auch die interpersonelle Kommunikation, in der der zweite Gesprächspartner einbezogen wird und der wechselseitige sprachliche Umgang gestört ist [15, S. 401].

Das bedeutet, dass Kinder und Jugendliche mit dieser Beeinträchtigung nicht nur auf ihre Sprachstörung reduziert werden dürfen, sondern als Ganzes betrachtet werden müssen. Wird diese Beeinträchtigung in den Kontext der Schule eingebunden, müssen sie sonderpädagogisch gefördert werden.

*„Sonderpädagogischer Förderbedarf im sprachlichen Handeln ist bei Schülern anzunehmen, die in ihren Bildungs-, Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten hinsichtlich des Spracherwerbs, des sinnhaften Sprachgebrauchs und der Sprechattivitàt so beeinträchtigt sind, dass sie im Unterricht der allgemeinen Schule ohne sonderpädagogische Unterstützung nicht hinreichend gefördert werden können.“* [10, S. 227]

Die Störungen der Sprache und des Sprechens werden in vier Kategorien eingeteilt:

1. Störungen der Sprachentwicklung
  - eingeschränktes Sprachverständnis
  - eingeschränkter Wortschatz
  - fehlerhafte Aussprache
  - fehlerhafte Grammatik [25, S. 165].
2. Alalie (Unvermögen zu artikulieren, keine Sprachentwicklung), Störungen des Redeflusses
  - Stottern (pathologische Unterbrechung des Redens, schnellrhythmische Wiederholung von Lauten, Silben, Worten oder Satzteilen, oder gepresste Stockung dieser) [25, S. 472].
  - Poltern (pathologische Kontinuität des Redens, hastiges Sprechen, übereilter Sprachablauf, zu hohes Sprachtempo) [25, S. 555]
3. Störungen infolge von Veränderungen an den am Sprechen beteiligten Organen
  - Näseln
  - Stimmstörungen

- Lippen-Kiefer-Gaumenspalten [25, S. 449].

#### 4. Zentrale Sprach- und Sprechstörungen

- Aphasien (Sprachverlust nach vollzogenem Erwerb), aufgrund einer Schädigung des Gehirns bezogen auf das Sprachsystem. (Beeinträchtigung in Semantik, Lexikon, Syntax usw. Sprachstörung) [25, S. 568]
- Dysarthrien (Beeinträchtigung des Sprechens aufgrund einer Störung im motorischen System. Kauen, Schlucken, Mimik beeinträchtigt und nicht das kognitive System =Sprechstörung) [25, S. 650].

Im Folgenden wird auf die wichtigsten Störungen der Sprache bei Kindern und Jugendlichen eingegangen. Für den Chemieunterricht spielen dabei der Dysgrammatismus und der mangelnde Wortschatz bzw. die mangelnde Begriffsbildung eine besondere Rolle.

1. Sprachentwicklungsstörungen äußern sich in der Form, dass die Entwicklung der sprachlichen Leistung im Bereich des Sprachverständnisses, der Lautbildung und der Satzbildung von der Norm abweichen. Sprachliche Entwicklungsstörungen lassen sich in drei Leitsymptomen unterscheiden, deren Ursache in jeweils anderen Systemen der Sprache liegen. Die erste Erscheinung, die Dyslalie (Stammeln) hat ihre Ursache in der Störung des phonologischen Systems und äußert sich so, dass bestimmte Laute/ Lautverbindungen nicht richtig ausgesprochen werden können. Sie werden entweder weggelassen, ersetzt durch andere in der Muttersprache vorkommende oder durch andere nicht in der Muttersprache vorkommende Laute/ Lautverbindungen. Dabei wird durch die Anzahl betroffener Laute/ Lautverbindungen in partielle-(ein-zwei), multiple (mehrere) und universelle (fast alle) Dyslalie unterschieden [25, S. 307].

Dysgrammatismus stellt die zweite Erscheinungsform dar. Kinder mit dieser Form der Sprachstörung bilden Sätze nicht in der richtigen Reihenfolge, sondern sie werden entweder unvollständig, in paradoyer oder in einer anscheinenden willkürlichen Reihenfolge gebildet. Diese Form der Sprachentwicklungsstörung zeigt sich im Auslassen von Wörtern oder Satzteilen, Umstellen von Wörtern innerhalb des Satzes oder durch Formfehler (falsche Artikelzuordnung, falsche Konjunktion) [25, S. 383].

Die dritte Form der Leitsymptome sind entwicklungsbedingte Sprachstörungen. Zu unterteilen sind diese in Störungen des Erwerbs von Fähigkeiten in verschiedene Bereiche [26, S. 332]:

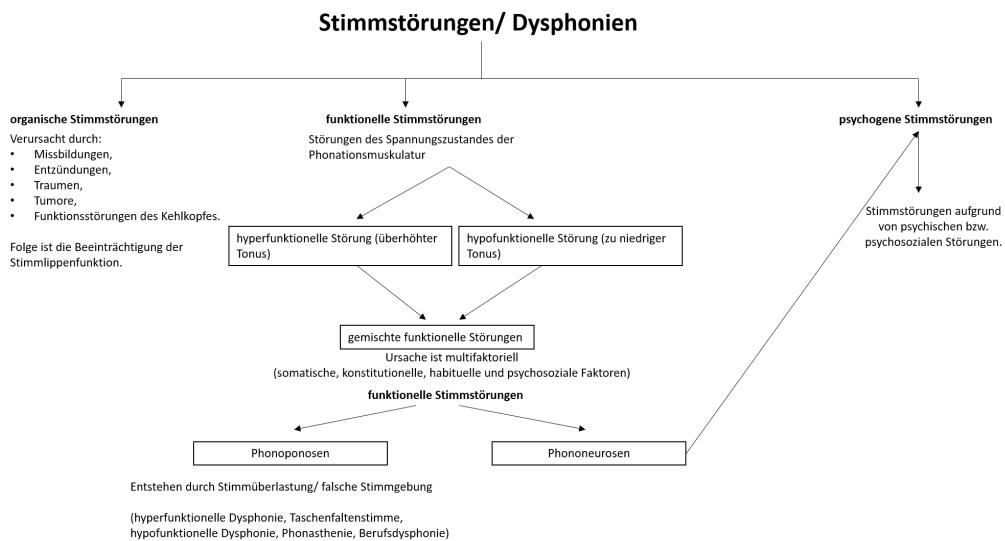
1. Semantik: Die Kinder verfügen nur über einen reduzierten Wortschatz.

2. Grammatik: Verwendung weniger Satztypen, Auslassen von Wortarten, falsche Verbstellung in Sätzen und weitere.
3. Phonetisch: Falsche oder keine Bildung von Sprachlauten
4. Phonologisch: Vertauschen von Buchstaben in Wörtern, sodass eine Bedeutungsveränderung eintritt.
5. Metasprachlich: Keine Korrektur/ Reflexion der eigenen Sprachen.

Die weiteren Formen der Störungen beziehen sich auf den Redefluss und können nur von ausgebildeten Sprachheilpädagogen bzw. Logopäden therapiert werden.

**2.** Die Störungen des Redeflusses sind Stottern: „*....eine zeitweise auftretende, willensunabhängige, situationsabhängige Redeflußstörung oft nicht bekannter Ursachen, die durch angespanntes, stummes Verharren in der Artikulationsstellung (tonisches Stottern), Wiederholungen (klonisches Stottern), Dehnung sowie Vermeidungsreaktionen (Wortvertauschungen, Satzumstellungen) charakterisiert ist.*“ [25, S. 472] und Poltern: “*[...] sprachliche Gestaltungsschwäche mit schneller, überstürzter, undeutlicher Sprechweise aufgrund einer angeborenen, oft vererbaren, konstitutionell oder hirnorganisch bedingten Auffälligkeit der Gesamtpersönlichkeit [...]*“ [25, S. 555]. Dabei handelt es sich neben einer Sprachgestaltungsschwäche, ebenso um einen überhasteten Ideenreichtum mit einhergehender anlagenbedingter Impulsivität. Das Poltern unterscheidet sich insofern von dem Stottern, dass es sich nicht um den Sprechvorgang handelt, sondern um die gedankliche Formulierung von Sätzen [25, S. 555].

**3.** Die dritte Kategorie befasst sich mit Störungen, die infolge von Veränderungen an den am Sprechen beteiligten Organen verursacht sind. Dazu zählen das Näseln, Stimmstörungen und die Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte [25, S. 449].



**Abbildung 8: Schema zu Stimmstörungen**

Quelle: [27, S. 64]

4. Weitere Formen der zentralen Sprach- und Sprechstörung sind die Aphasie (Verlust sprachliche Informationen zu geben und zu verstehen trotz intakter Sprech- und Hörorgane) [25, S. 568] und die Dysarthrie (Störungen der Aussprache, der Stimmgebung und der Atmung durch Erkrankungen zerebraler Zentren) [25, S. 650]. Bei diesen Formen der Störung kann die Chemiedidaktik keinen angemessenen Beitrag zur Förderung leisten. Hier sind Therapien aus der Logopädie und der Sprachheilpädagogik von Bedeutung.

### 1.7.2 Interventionsmöglichkeiten

Die Sprache spielt, sowohl in der Kommunikation der Schüler:innen untereinander, mit der Lehrperson und mit sich selbst, eine bedeutende Rolle und wird sowohl mündlich als auch schriftlich in der Chemie verlangt, um sich auszudrücken und den eigenen Meinungen und Aussagen Bedeutung zu verleihen. In Bezug auf den Chemieunterricht wird dies stetig in verschiedenen Phasen des Unterrichts verlangt. So können die Lernenden Fragen und Probleme aufwerfen, die den Unterrichtsverlauf gestalten. Außerdem sollen sie befähigt werden, Lösungsvorschläge für Probleme zu entwickeln und sich bewusst für einen möglichen Weg der Problemlösung zu entscheiden. Die Durchführung von Experimenten verlangt das Verstehen der Versuchsanleitung und das Dokumentieren der Erkenntnisse. Ein kommunikativer Austausch von Erfahrungen in Übungsphasen konsolidiert das neu gewonnene Wissen. In dem nächsten Abschnitt werden dazu alternative Dokumentationsformen beschrieben, die neben dem klassischen Versuchsprotokoll Anwendung finden können, um Schüler:innen mit dem

Förderschwerpunkt Sprache das Festhalten von Versuchsergebnissen zu vereinfachen. Diese Formen finden nicht nur bei Schüler:innenn des sonderpädagogischen Förderbedarfs Sprache Anwendung. Sie können ebenso für die Förderschwerpunkte „*emotionale und soziale Entwicklung*“, „*geistige Entwicklung*“, „*Autismus*“ und „*Lernen*“ angewandt werden.

Aus der Unterrichtspraxis ist bekannt, dass Lernende lieber Experimente durchführen, als diese zu beschreiben. Dies äußert sich so, dass Schüler:innen nach der Versuchsdurchführung fragen, ob sie den Versuch noch einmal durchführen dürfen, ohne dass sie die Beobachtungen bzw. die Auswertungsaufgaben bearbeitet haben. Experimente dienen der Erkenntnisgewinnung grundsätzlich. Sie sollen aber auch die Lernenden motivieren, am Unterricht aktiv teilzunehmen. Dadurch wird ein Lernprozess induziert. Protokolle gehören jedoch zur Versuchsdurchführung und erfüllen mehrere Aufgaben, die durchdacht werden müssen (Vorbereitung, Durchführung, sowie Notieren von Beobachtungen und das Auswerten dieser) und unterliegen bestimmten Kriterien [28, S. 127].

Im Prozess des Experimentierens sollte das Protokollieren einen angemessenen Umfang haben und eine zeitliche und logische Reihenfolge eingehalten werden. Dazu zählt unter anderem, dass die einzelnen Durchführungsschritte des Versuchs verständlich formuliert sind. Weiterhin ist es unerlässlich, die Fachsprache anzuwenden. Das Versuchsprotokoll erfüllt unter anderem Funktionen, wie die propädeutische Form des wissenschaftlichen Arbeitens, die Weitervermittlung von Wissen, Lern- und Behaltenshilfe. Zudem werden die Funktionen des konstruktivistischen Lernens und aufklärerische Funktionen berücksichtigt. Zusätzlich kann ein Protokoll als Reflexionsmedium dienen.

In Bezug auf inklusiven Unterricht stellt das Versuchsprotokoll die größte Herausforderung für Schüler:innen mit den Förderschwerpunkten „*Lernen*“, „*geistige Entwicklung*“, „*Sprache*“, „*Autismus*“ und „*emotionale und soziale Entwicklung*“ dar. Zum einen, weil diese eine erhöhte Anforderung sowohl auf der fachspezifischen als auch auf der sprachlichen Ebene aufstellen. Zum anderen, weil diese Kinder und Jugendlichen oft Probleme haben, Texte, und dazu zählen auch Aufgabenstellungen und Versuchsanleitungen, zu erfassen und zu verfassen. Das Anfertigen eines Versuchsprotokolls wird eher als eine mühevolle Lernnotwendigkeit und nicht als Hilfe zum besseren Verständnis des Experimentes angesehen. Außerdem besteht die Gefahr, dass zwar der Versuch richtig beschrieben wird, es aber nicht zu einer immanenten Durchdringung des Fachinhaltes kommt [28, S. 127]. Schüler:innen in heterogenen Lerngruppen benötigen eine individuelle Förderung. Dabei werden alternative

Dokumentationsformen wie die Erstellung eines Gesprächsprotokolls, Videos oder einer Chemie-Foto-Story als Methodenwerkzeuge beschrieben. Alle drei Alternativen haben gemeinsam, dass sie nicht ausschließlich das Schreiben als Grundlage haben. Dabei soll die Schreibkompetenz nicht übergangen, sondern eine weitere Möglichkeit der Reflexion geboten werden. Die Fachsprache wird in diesem Fall in gesprochener Sprache angewandt. Die Schüler:innen werden aktiv in den Prozess der Ergebnissicherung durch die Verwendung von auditiven, visuellen und audiovisuellen Medien einbezogen. Es erfolgt sowohl eine Differenzierung in der Methodik, als auch in der Verarbeitungs- und Bearbeitungsstrategie. Kurz sollen nun die drei alternativen Dokumentationsvarianten konturiert werden [28, S. 129].

#### **Chemie-Foto-Story:**

- erzählerisch-schreibend-zeichnerische Wiedergabe des Experiments (Zusammenspiel von Sprache und Zeichnung)
- Interaktionen des Experimentierens sowie affektive Ausdrucksformen werden in einem Panel (abgegrenzter Abschnitt auf einem A4-Blatt für einen Handlungsabschnitt) dargestellt
- Kommentare fließen als Sprech- oder Denkblasen und/ oder als Bildkommentar ein
- Details werden hervorgehoben
- individuelle Gestaltung in Anzahl und Zeichnung und der Art und Weise des Panels
- Experiment steht im Fokus
- intensive und inhaltliche Auseinandersetzung mit dem Experiment
- Ziel ist die vollständige und nachhaltige Reflexion durch die handlungsorientierte Dokumentation. Dabei werden die kognitiven, psychomotorischen und affektiven Kompetenzbereiche berücksichtigt.

Ferner werden durch den Methodenwechsel und die Mehrdimensionalität verschiedene Lerntypen angesprochen. Zudem fördert es die Kreativität der Lernenden, und der Prozess der Erkenntnisgewinnung wird neu erlebt, reproduziert und wahrgenommen [28, S. 132].

Die Form des **Gesprächsprotokolls** wird mithilfe eines Diktiergerätes durchgeführt und orientiert sich ausschließlich an der sprachlichen und sachlichen Kommunikation. Durch diese Art und Weise der Dokumentation wird die mangelnde Schreibkompetenz kompensiert. Außerdem werden hier vor allem die Fähigkeiten der Kommunikation und Kooperation geschult. Dabei wird es den Kindern und Jugendlichen ermöglicht, sich zu interviewen und

---

über die Ergebnisse zu diskutieren. Dabei können unterschiedliche Standpunkte analysiert werden. Allerdings ist diese Methode noch wenig erforscht [28, S. 135].

Die **Videodokumentation** ist eine Form der Ergebnissicherung, die den Lernenden sowohl ermöglicht, sich über die bewegten Bilder audiovisuell auszudrücken, als auch die Mimik und Gestik einzubeziehen. Die Herausforderung, diese Dokumentation durchzuführen, beruht, auf der Planung und anschließenden Durchführung, wie das Experiment in bewegten Bildern dargestellt werden kann. Kriterium für dieses Methodenwerkzeug ist, dass das Experiment im Vordergrund steht. Die Interaktionen der Schüler:innen in Bezug auf Sprache, Mimik, Gestik und Emotionen können ebenfalls festgehalten werden und dienen der Hervorhebung von wichtigen Sachverhalten. Zugleich erfahren die Lernenden durch diesen individuellen und anschaulichen Zugangsweg viel näher die Bedeutungen des Experimentes. Darüber hinaus wird die soziale Kompetenz durch die Kommunikation zwischen den Schüler:innen sowie deren Interaktion gefördert. Ebenso reflektieren sie viel intensiver die gewonnenen Erkenntnisse und sich selbst [28, S. 135]. Nicht nur bei der Foto-Story, sondern auch bei der Videodokumentation wird neben den Sachinhalten des Experimentes auch die Art und Weise, wie die Schüler:innen den Versuch erleben, aufgenommen und dargestellt.

Gemeinsam haben alle drei Dokumentationsformen, dass sie viel näher am Prozess des Experimentierens orientiert sind als das klassische Versuchsprotokoll, das rational-logisch die Handlung und das Ergebnis aufnimmt. Vergleicht man die drei Alternativen, so verzichten die Videodokumentation und das Gesprächsprotokoll auf die Verschriftlichung. Die Chemie-Foto-Story hingegen bedarf einer sprachlichen Darstellung in Form von Denk- und Sprechblasen, wie auch von Bildkommentaren. Im Vergleich zum Versuchsprotokoll ist der Schreibaufwand deutlich geringer. Auch in den Sozialformen unterscheiden sich die Dokumentationsformen. So werden das Versuchsprotokoll und die Chemie-Foto-Story in Einzelarbeit angefertigt, die Videodokumentation und das Gesprächsprotokoll werden dagegen in Partner- oder Gruppenarbeit durchgeführt. Im Zuge der inneren Differenzierung stellen das individuelle und das kooperative Lernen Gestaltungsmöglichkeiten dar. Hinsichtlich des individuellen Lernens ist das Ziel, dass die Kinder und Jugendlichen sich unmittelbar mit dem fachlichen Inhalt auseinandersetzen und in ihrer Selbsttätigkeit, -steuerung und -ständigkeit gefördert werden. Das kooperative Lernen hat neben dem fachlichen Ziel die Aufgabe, die

Schüler:innen in ihrer sozialen Kompetenz weiterzuentwickeln. Durch die alternativen Dokumentationsformen werden variable Lernwege eröffnet und somit eine individuelle Förderung induziert. Das kooperative Lernen findet seine Anwendung in der Gesprächsprotokollierung und in der Videodokumentation. Dabei sollen positive Wechselwirkungen durch das Zusammenwirken der Beteiligten entstehen. Innerhalb der Gruppe müssen sie individuelle Verantwortung übernehmen. Darüber hinaus sollen über face-to-face Interaktionen gegenseitige Feedbacks ausgesprochen werden, durch die Nutzung von kooperativen Fertigkeiten. Auch in schwierigen Situationen sollen sie lernen, sich angemessen zu verhalten. Außerdem sollen sie sich gegenseitig vertrauen und Konflikte adäquat bewältigen, sodass im Gruppenprozess effektiv gearbeitet werden kann. Die Schüler:innen sind somit angehalten, sich fachlich auszutauschen und die Inhalte immanent nachzuvollziehen. Diese Vorgehensweise enthält zudem den Effekt der Motivationssteigerung. Zwar ist durch die Chemie-Foto-Story und die Videodokumentation kaum eine strikte Trennung der einzelnen Schritte möglich, wie es nach den Kriterien des Versuchsprotokolls verlangt wird. Ebenfalls verhält es sich so mit der Beschreibung der Durchführung und Beobachtung des Experiments. Eine weitere Schwierigkeit ist es, die Fachsprache in der Chemie-Foto-Story angemessen zu nutzen. Der Fokus liegt hier bei der inhaltlichen und methodischen Vollständigkeit der Dokumentation, sodass eine sinnstiftende Reflexion und Reproduktion als Mittel dienen, um das konvergente Denken zu schulen. Ziel dieser Dokumentationsformen ist es nicht, das Versuchsprotokoll zu ersetzen oder darauf vorzubereiten. Sie sollen eine Differenzierungsmaßnahme im Chemieunterricht darstellen, um auf die individuellen Bedürfnisse der Förderschwerpunkte einzugehen und sich diesen anzupassen [28, S. 137].

Diese Alternativen werden vor allem zum Einsatz für die vorausgegangenen Förderschwerpunkte kommen können. Schüler:innen mit geringen Kompetenzen im Schriftspracherwerb werden von diesen Methoden profitieren. Sie eröffnen den Kindern und Jugendlichen neue Lernwege. Dennoch müssen diese Methoden zunächst eingeführt werden und benötigen Sequenzen der Einübung. Auch eine Differenzierung des Versuchsprotokolls ist eine Möglichkeit, die Ergebnissicherung an die Förderschwerpunkte anzupassen. So können den Schüler:innen im Abschnitt der Beobachtung und der Auswertung des Versuchs kurze Fragen gestellt werden, mit unterschiedlichen Antwortmöglichkeiten (Multiple-Choice, Single-Choice) zum Ankreuzen, um eine Überforderung in der Formulierung von Sätzen zu vermeiden. Dies bedeutet nicht, dass die Schreibkompetenz nicht gefördert werden soll. Durch

weitere Maßnahmen, wie die Zuordnung von Sätzen in die richtige Reihenfolge, das Einsetzen von Wörtern in Lückentexten oder die Formulierung von einfachen Sätzen, werden die Lernenden gefordert. Dadurch soll ein sukzessiver Aufbau der Fachsprache erfolgen, sowie die Schreibkompetenz gefördert werden. Im späteren Verlauf werden weitere Möglichkeiten zur Förderung des Fachspracherwerbs beschrieben.

Krämer beschreibt eine weitere Variante zur Förderung des Sprachverständnisses von lernschwachen Schüler:innenn durch „*Scaffolding*“ (übersetzt „Baugerüst“). Mit dieser Methode der Hilfestellung sollen die Sprachkompetenzen systematisch aus- und aufgebaut werden. Die sprachlichen Anforderungen sollen dabei, sowohl bei der Unterrichtsplanung als auch bei den mündlichen Interaktionen im Unterricht berücksichtigt werden. Letzteres bezieht sich darauf, dass den Schüler:innenn genügend Zeit für ihre Äußerungen zur Verfügung steht. Die dabei sehr kontextbezogenen und in Alltagssprache formulierten Sätze sind von der Lehrkraft aufzunehmen, um dann den Lernenden alternative sprachliche Formulierungen zur Verfügung zu stellen. Diese Reformulierung führt zu einer Erweiterung des sprachlichen Repertoires der Kinder und Jugendlichen. In der Unterrichtsgestaltung treten Veränderungen in der genauen Analyse der Fachtexte und des Fachvokabulars auf. Es muss genau geplant werden, wie und wann Fachsprache oder sprachliche Besonderheiten eingeführt werden. Des Weiteren muss sich die Lehrkraft mit dem eigenen Gesprächsverhalten auseinandersetzen, es reflektieren und gegebenenfalls verändern. Fachtexte sollten erst gelesen werden, wenn das Thema durch vorhergehende Aktivitäten vorbereitet wurde. Die Lernenden sollen die kontextunabhängige Sprache des Textes verstehen [29, S. 34].

Das „*Scaffolding*“ basiert auf vier Phasen.

### **1. Kontextgebundene Alltagssprache:**

In dieser Phase sollen die Schüler:innen einfache Versuche durchführen, die zu ähnlichen Beobachtungen führen. Dabei soll die Sozialform der Partner- oder Gruppenarbeit gewählt werden, damit die Lernenden sich kontextgebunden in ihrer Alltagssprache zu den Versuchen austauschen [29, S. 34].

### **2. Kontextreduzierende Mündlichkeit:**

An dieser Stelle werden Versuche durchgeführt und anschließend repräsentiert. Es findet eine erste Annäherung an die Schriftsprache statt, da sich die mündliche Interaktion an dieser orientiert. Die Reduzierung des Kontextes ist zwangsläufig, da die Materialien des

Versuchs nicht mehr zur Verfügung stehen. Hier werden die Kriterien der mündlichen Interaktion wirksam. Den Schüler:innen wird die notwendige Zeit zur Verfügung gestellt. Die Lehrkraft gibt Hilfestellung in Form von Umformulierungen, Hervorhebung von fachsprachlichen Besonderheiten und Bereitstellung von neuem sprachlichem Material. Das Verständnis des Fachtextes wird so angebahnt [29, S. 34].

### **3. Kontextunabhängige Schriftlichkeit:**

Der Fachtext wird in dieser Phase von den Schüler:innen gelesen und bearbeitet. Ziel ist es, dass die Lernenden die Fachsprache verstehen bzw. verwenden können [29, S. 34].

### **4. Fading (Abbau der Gerüste):**

Letztlich sollen die Schüler:innen die Fachsprache in ihren aktiven Wortschatz übernommen haben. In dieser Phase erfolgt dann die weitere Durchführung von Experimenten, das Bearbeiten anderer Aufgaben und das Lesen und Schreiben von weitergehenden Texten [29, S. 34].

Ein Nachteil dieser Methode ist die aufzuwendende Zeit, die benötigt wird, um das Sprachverständnis der Schüler:innen auf- und auszubauen. Dennoch können durch diese Methode größere Lernzuwächse verzeichnet werden. Zeitersparnisse, um die vorbereitenden Maßnahmen zu kompensieren, können durch die nur teilweise zu verfassenden Protokolle oder durch Multiple-Choice erzielt werden. Trotzdem soll je Unterrichtsstunde mindestens eine Schreibaufgabe gestellt werden, um die Schreibfertigkeiten zu fördern [29, S. 34].

## **1.8 Autismus**

Autismus ist bislang nicht in allen Bundesländern ein eigenständiger Förderschwerpunkt, sondern nur in Berlin, Hamburg und Schleswig-Holstein. In anderen Bundesländern wurde er bisher nie geführt, abgeschafft oder dem Förderschwerpunkt „*Ohne Zuordnung*“ zugeordnet. Aufgrund der Angaben der befragten Chemielehrer:innen zu dem Förderschwerpunkt und der entsprechenden Häufigkeit (Abbildung 4) wird er dennoch in dieser Arbeit aufgeführt.

### **1.8.1 Übersicht**

Autismus kann nur schwer definiert werden. Angesichts dessen werden hier kurz die unterschiedlichen Störungsbilder charakterisiert. Die autistische Störung äußert sich bei den Betroffenen in Beziehungseigentümlichkeiten, wie

Selbstbezogenheit oder „*Insichgekehrtsein*“. Dabei nehmen sie keinen Kontakt nach außen auf. Aufgrund der unterschiedlichen Erscheinungsweisen kann diese Erkrankung weder in die Personengruppe von geistig Behinderten noch in die der Verhaltensgestörten zugeordnet werden. Eine Unterscheidungsmöglichkeit stellt die nach den Erscheinungsbildern von Kanner (USA) und Asperger (Österreich) dar. Beide kommen selten in Reinform, sondern eher in Mischform mit weiteren Symptomen, vor. Die WHO klassifizierte die Erkrankung nach der ICD-10 in das System für geistig-psychische und psychosoziale Störungen und damit gehört sie zu den tiefgreifenden Entwicklungsstörungen. Darunter fallen noch weitere Formen des Autismus, wie der Atypische Autismus, das Rett-Syndrom, das Heller-Syndrom und die überaktive Störung mit Intelligenzminderung und Bewegungsstereotypen. Im weiteren Verlauf werden nur das Asperger-Syndrom und der frühkindliche Autismus nach Kanner betrachtet [11, S. 243].

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich nur auf die Erscheinungsbilder des Asperger-Syndroms und des frühkindlichen Autismus nach Kanner, da Ausführungen zu allen weiteren Autismusformen zu weit führen würden. In der folgenden Tabelle werden die einzelnen Bereiche, die durch autistisches Verhalten beeinflusst werden, beschrieben.

Kategorie	Erscheinungsbilder	
	Asperger-Syndrom	Frühkindlicher Autismus
<b>Hauptsymptome</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbstisolation</li> <li>• fehlender Blickkontakt</li> <li>• Selbstbeschau auf Körper- und Denkprozesse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schwere Kontaktstörung zur personellen Umwelt</li> <li>• Veränderungsangst: zwanghaftes Bedürfnis der Gleichheit der Umwelt</li> </ul>
<b>Sprache</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gutes Sprachvermögen mit frühzeitigen Eigentümlichkeiten in Lautstärke und Melodie</li> <li>• kreative Sprachschöpfung (unnatürlich, für niemanden verständlich)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schwere dauerhafte Sprachentwicklungsstörung</li> <li>• Echolalie (Beschränkung Sprache auf das Nachsprechen vorgesagter Wörter)</li> <li>• Pronomenverkehrung</li> </ul>
<b>Interesse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eigene Person, funktions- und sachbezogen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objektfixierung</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixierung auf Bewegungsabläufe</li> </ul>	
<b>Motorik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fremd im eigenen Körper</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• relativ unauffällig</li> </ul>
<b>Intelligenz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• durchschnittlich bis überdurchschnittlich</li> <li>• spezielle Begabung (mathematisch-physikalisch)</li> <li>• gutes Abstraktionsvermögen</li> <li>• selektives Gedächtnis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• emotional blockiert</li> <li>• oft unterdurchschnittlich</li> <li>• umfängliche/ partielle Störung (z.B. mangelndes Symbolverständnis)</li> <li>• Erscheinungsbild: eher analog zu geistiger Behinderung</li> </ul>
<b>Sozialkontakt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ablehnend, abweisend, oft aggressiv</li> <li>• Verweigerung offensichtlich oder durch Paradoxhandlungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soziale Umwelt existiert nicht</li> <li>• kurzer Blickkontakt möglich</li> <li>• Wahrnehmung von Personen bei Umweltveränderung gleicht einem Kampf</li> </ul>
<b>Leistungsverhalten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intensives und ausdauerndes Arbeiten in Spezialbereichen (häufig herausragende Leistungen)</li> <li>• zu Arbeiten in andern Bereichen nicht motiviert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eher schlecht, wenig motiviert (Stereotypien)</li> <li>• Objektfixierung und -beschäftigung scheinbar ohne Lerneffekt</li> </ul>

Tabelle 5: Erscheinungsformen zum Förderschwerpunkt Autismus

Quelle: nach [30, S. 13]

Das Lern- und Leistungspotenzial von Kindern mit Autismus weist erhebliche Diskrepanzen auf, so können sowohl Leistungsstärken mit einer speziellen Begabung oder Genialität auftreten, als auch Leistungsschwächen, die eine geistige Behinderung vermuten lassen [31, S. 183]. Im Weiteren werden Ebenen genannt, bei denen autistische Personen Schwierigkeiten im Lernprozess allgemein haben:

- Es fällt ihnen sehr schwer, zu verstehen, was sie unternehmen sollen, um zu lernen.
- Sie haben Probleme, (Lern-)Handlungen auszuführen und sich dabei nicht von dem ablenken zu lassen, was sie viel eher interessiert und fesselt.

- Sie bleiben viel eher bei ihren eigenen, oft zu Stereotypien „erstarren“ Interessen und Strategien, als neue zu entdecken oder sich zeigen zu lassen.
- Sie haben Probleme, Rückmeldung und Verbesserungsvorschläge zu verstehen und sie ernst zu nehmen.
- Sie haben Schwierigkeiten, zu kooperieren, zu kommunizieren und sich zu orientieren: Also zu verstehen und zu akzeptieren, wo man was tut, was nacheinander zu tun ist, wie lange etwas dauert – und dabei von eigenen Vorstellungen und Gewohnheiten abzuweichen [31, S. 184]

### 1.8.2 Interventionsmöglichkeiten

Um Kinder und Jugendliche mit dem Autismus-Syndrom gezielt im Unterricht zu fördern, müssen passende und individuell gestaltete Unterrichtsmethoden eingesetzt werden. Nach Knorr [31, S. 370] können autismusspezifische Förderungen in einer auf Schulsystemebenen-bezogenen Systematisierung zusammengefasst werden. Zu nennen sind die Prozessebene, die Schul-, Klassen- und Lehrerebene sowie die Unterrichtsebene. In der folgenden Übersicht sind die wichtigsten Punkte zu den unterschiedlichen Ebenen aufgezeigt.

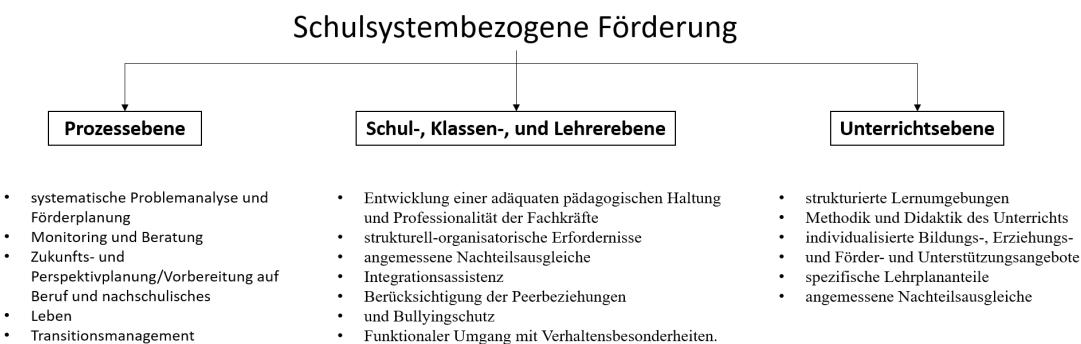


Abbildung 9: Fördermaßnahmen in der „Institution Schule“

Quelle: [31, S. 370]

In Bezug nur auf die Unterrichtsebene spielen räumliche, sachliche und personelle Rahmenbedingungen eine führende Rolle. Für den Chemieunterricht sind vor allem die sachlichen Unterrichtsbedingungen von Bedeutung:

#### Sächliche Unterrichtsbedingungen:

- Orientierung an zu bearbeitenden Lerninhalten und individuellen Bedürfnissen des Schülers,
- aufbereitetes Unterrichtsmaterial und

- technische Hilfsmittel (z.B. Sprachausgabegeräte, Zeitmesser, Diktiergeräte) [31, S. 370].

Des Weiteren spielen Methoden der direkten Instruktion, der Selbstinstruktion, der Strategieinstruktion und der Verhaltensmodifikation als Interventionsmöglichkeiten eine wichtige Rolle in Bezug auf den Lernerfolg der Schüler:innen. Dieser Einfluss der Methode muss so differenziert, wie möglich eingesetzt werden. Zudem zählt sie zu den effektivsten Interventionsmöglichkeiten bei Betroffenen des Autismus-Syndroms [31, S. 370].

Evidenzbasierte Methoden sind autismusspezifische Verhaltenstherapien (**TEACCH** – Treatment and Education of Autistic and related Communication handicapped Children) und unterstützte Kommunikationsformen (PECS- Picture Exchange Communication System) sowie Methoden des Sozialtrainings. Das Ziel der TEACCH-Methode ist es, stark autistische Schüler:innen zu unterstützen und stellt eine spezifische Unterstützungs- oder Interventionsmethode dar. Sie kann im Rahmen von operantem Lernen und Strukturierungshilfen eine Zuarbeit zum gemeinsamen Unterricht leisten. Kurz sollen die wichtigsten Merkmale für den Chemieunterricht der TEACCH Methode vorgestellt werden.

**Zeit:**

- Überblicken der Abfolge einzelner Aktivitäten (z.B. durch Pläne, die Visualisierung unterschiedlicher Zeiträume, Darstellung einer unmittelbar folgenden Aktivität in der Gegenwart, sowie Tages-, Wochen- und Monatsübersichten)
- Symbolisierung einzelner Aktivitäten auf unterschiedliche Abstraktionsniveaus (z.B. konkrete Objekte/ Fotos, Zeichnungen, Piktogramme)

**Material:**

- Aufgabenkisten, Aufgabentablett, Aufgabenmappe, Aufgabenkorb
- klare Strukturierung des Materials, sodass Reize minimiert werden

**Handlung:**

- Visualisierung und Strukturierung von lebens- und alltagsbedeutsamen Handlungsketten (Darstellung einzelner Arbeitsschritte mit Fotos, Symbolen und Schrift)

**Instruktionen:**

- Visualisierung von Instruktionen (Schriftliche und symbolische Anweisungen, Schablonen, Bildsequenzen, markierte Unterlagen, farbige Codierung zur Ersetzung auditiver Aufforderungen und Aufgabenstellungen)

**Routinen:**

- Gleichbleibende Abläufe
- Prinzipien von Arbeitsgängen und Handlungsschritten (von links nach rechts, von oben nach unten, von vorn nach hinten)
- Visualisierung des Endes einer Aufgabe z.B. Fertigkorb [31, S. 365]

Weitere Unterstützungsangebote für autistische Schüler:innen, die im Chemieunterricht umgesetzt werden können, sind:

- „*Formen der unterstützten Kommunikation (z.B. Gebärden, Symbolkarten, elektronische Hilfsmittel) (augmentative and alternative communication; AAC)*
- *Visualisierte Arbeitsmaterialien*
- *Wahrnehmungsförderung*
- *Speziell vorbereitete oder modifizierte Arbeitsmaterialien unter Berücksichtigung individueller Interessen*
- *Alternative (erleichternde) Arbeitsmaterialien (z.B. PC als Schreibhilfe)*
- *Schriftliche oder visualisierte Aufgabenstellungen (statt mündliche)*
- *Erstellung von Wochenplänen und Tagesabläufen*
- *Ablauf- und Übergangspläne zur Vorhersehbarkeit von Situationswechsel, Aufgaben, Räumen, Fächern etc.*
- *Unterstützung beim Organisieren anbieten (z.B. von Materialien, der Bewältigung mehrerer Aufgaben)*
- *»kleinschrittiges« Vorgehen bei Lernprozessen (task analysis and step by step)*
- *Regelmäßige Wiederholungen von Lernaufgaben*
- *Wahlmöglichkeiten anbieten“ [31, S. 196].*

## 1.9 Lernen

### 1.9.1 Übersicht

Zunächst muss betrachtet werden, was Lernen überhaupt ist.

*„Lernen im Sinne von Wissenserwerb kann als Aufbau und fortlaufende Modifikation von Wissensrepräsentationen definiert werden.“ [32, S. 163]*

Aufgrund des Lernprozesses verändert sich der Organismus so, dass er in einer vergleichbaren Situation anders reagiert. Das Erfahrungsbild erweitert sich und schließt die Verhaltensänderung mit ein [22, S. 35]. Lernen im Kontext des Wissenserwerbes ist ein komplexer Prozess, der in mehrere Teilprozesse untergliedert wird: (1) Verstehen, (2) Speichern, (3) Abrufen des erworbenen Wissens und (4) Transfer des Wissens [32, S. 163].

Dieser Ablauf setzt voraus, dass sich der Lernende mit der unmittelbaren Umwelt auseinandersetzt und sich dabei geistige und psychische Merkmale herausbilden bzw. diese ausschöpfen. In der „Institution Schule“ ist das Ziel, dass die Schüler:innen Wissen und Kenntnisse, motorische und sprachliche Fertigkeiten, personale und pragmatische Fähigkeiten und soziale Erfahrungen erwerben [11, S. 275]. Kinder und Jugendliche, bei denen dieser Prozess gestört ist, sind dem Förderschwerpunkt Lernen zuzuordnen. Dabei wird in der Literatur zwischen den Begriffen Lernstörung und Lernbehinderung unterschieden. Eine Lernbehinderung zeichnet sich durch einen deutlichen Rückstand der Intelligenz aus und führt zu einer Problematik in der subjektiven Lernbiografie. Eine Lernstörung hingegen beeinträchtigt die Leistungen im schulischen Bereich, wie z.B. des Lesens und Schreibens, ohne oder mit einer wenig retardierten Intelligenz. Lernstörungen können auch Ursache einer Aufmerksamkeits- oder Motivationsstörung sein. Zwischen den beiden beschriebenen Formen kann jedoch nur schwer unterschieden werden, da die Grenze zwischen ihnen nicht scharf gezogen werden kann. So kann sich eine Lernstörung zu einer Lernbehinderung entwickeln, wenn nicht interveniert wird [15, S. 442]. Problematisch ist es, einen Oberbegriff für den Förderschwerpunkt Lernen zu finden, da der Begriff „Lernbehinderung“ in der Kritik steht, zu stigmatisieren und zu etikettieren, da dieser Begriff für die betroffenen Personen massive lebenspraktische und subjektive Nachteile bedeutet. Diese Diskussion ist Teil der Ethik und nicht Gegenstand der weiteren Darstellung dieses Förderschwerpunktes. Auch wenn die KMK in diesem Kontext kritisiert wird [15, S. 443], wird dennoch auch in anderen literarischen Werken der Oberbegriff „Lernbehinderung“ verwendet. Nach der

ICF-CY (International Classification of Functioning, Disability and Health – children and youth) wird eine Lernbeeinträchtigung unter der Klassifikation der Körperfunktion, genauer der mentalen Funktion in globaler (Funktionen der Intelligenz) und spezifischer Ebene, aufgelistet. [8, S. 63].

Der Förderschwerpunkt Lernen äußert sich in verschiedenen Facetten. Dabei spielen insgesamt acht Bereiche eine führende Rolle.

1. Die **Lern- und Leistungsmerkmale** der Kinder und Jugendlichen zeigen sich durch einen geringen Lernzuwachs, selbst wenn über einen langen Zeitraum pädagogisch gefördert wird. Der geringe Lernzuwachs äußert sich vor allem in Fächern, die einen hohen Anteil kognitiver Prozesse haben. Teilleistungsstörungen (wurden nicht erkannt) und schulische Defizite können durch gezielte Förderung nicht mehr ausgeglichen werden. Durch die schulischen Misserfolge entstehen außerdem Misserfolgserwartungen, die zu einer Motivationsminderung führen.
2. **Kulturtechniken** wie Lesen, Schreiben und Rechnen werden nur eingeschränkt beherrscht. So bilden sich im Bereich Rechnen Schwächen aus z.B.: Umgang mit Mengen, unzureichende Zahlen- und Ziffernkenntnis, eingeschränktes Mengen-, Zahlen-, und Größenvorstellungen, teilweise ist nur Transfer von mathematischen Grundwissen möglich. Im Bereich des Lesens und Schreibens sind Schwächen z.B. in der Lesefertigkeit, der unvollständigen/ fehlerhaften Sinnentnahme aus Texten oder fehlerhafte Satzbildung zu vermerken.
3. In der **Kognition** wird eine Lernbeeinträchtigung durch die geringe Flexibilität im Denken deutlich. Dies wird unter anderem beim Denken auf der begrifflich-abstrakten Ebene (verminderte Vorstellungsfähigkeit) deutlich. Denkprozesse sind verlangsamt/ gemindert (Einprägen, Behalten, Reproduzieren), sie neigen zu Stereotypien und wenden unkritisch vorgegebene Algorithmen an. Außerdem sind die Analyse- und Synthesefähigkeit, wie auch die Transferleistung beeinträchtigt. Dem schließt sich an, dass Problemlöseprozesse nur unvollständig und unselbstständig erfolgen sowie der Arbeitsauftrag nur teilweise erfasst wird. Obendrein besitzen Kinder und Jugendliche mit dieser Beeinträchtigung kein altersgerechtes Allgemeinwissen. Dagegen werden praktisch orientierte Sachverhalte schneller und langfristiger verinnerlicht.
4. Im Bereich der **Sprache** zeigen sich Beeinträchtigungen durch einen geringen Wortschatz, milieuspezifische Sprache, herabgesetztes

Sprachverständnis, Wortfindungsschwierigkeiten, sowie weitere Auffälligkeiten, die dem Förderschwerpunkt Sprache zugeordnet werden müssen (Sprachentwicklungsstörungen).

5. Die **Wahrnehmung** der betroffenen Personen ist im Bereich des Wahrnehmungsumfangs, der -verarbeitung und der -geschwindigkeit gemindert. Dies betrifft die visuelle Wahrnehmung (Verwechslung von Formen, Farben, visuelle Differenzierung, visuomotorische Koordination und Erfassen von räumlichen Beziehungen), die auditive Wahrnehmung (Geräusche erkennen und unterscheiden) und die taktile/ kinästhetische (Bewegungsempfindung) Wahrnehmung (Erfühlen, Ertasten, Berührungen werden als unangenehm empfunden).
6. Der sechste Bereich widmet sich der **Aufmerksamkeit und Konzentration**, die sich durch eine geringe Aufmerksamkeitsdauer auszeichnet sowie der fehlenden Aufgabenzentriertheit. Ein weiterer Punkt ist die schwankende Konzentration, welche interessengebunden ist.
7. Der siebte Punkt betrifft die **Motorik**, die insoweit eingeschränkt sein kann, dass sich dies z.B. in Form eines ausgeprägten oder verminderten Bewegungsdrangs äußert.
8. Der letzte Punkt bezieht sich auf das **sozial-emotionale Verhalten** und ähnelt dem Förderschwerpunkt emotional-soziale Entwicklung im Bereich Schule [18, S. 9]. Es stellen sich im Lernverhalten Einschränkungen bzw. Fehlen von Motivation, Konzentration und Ausdauer dar. Des Weiteren haben sie Probleme bei der Aufnahme und Verarbeitung von Informationen (auch sprachlich), dem Abspeichern und Abrufen von Kenntnissen, dem gedanklichen Transfer und bei der Bildung von Analogien. Es zeigen sich Defizite bei der Ordnung, der Lernorganisation und dem Arbeitsverhalten. Zudem besitzen sie ein mangelndes Selbstbewusstsein und vertrauen ihren eigenen Fähigkeiten nicht [33, S. 16].

### 1.9.2 Interventionsmöglichkeiten

Um den Lernprozess von Schüler:innenn mit dem sonderpädagogischen Förderbedarf Lernen zu unterstützen, bedarf es verschiedener Methoden und didaktischer Vorgehensweisen. Dabei können bereits vorgestellte Interventionen aus den vorhergegangenen Förderschwerpunkten angewendet werden. Betrachtet man die Faktoren, die eine Lernbehinderung bzw. eine Lernbeeinträchtigung verursachen, können zu den Förderschwerpunkten

geistige Entwicklung und Autismus, in Bezug auf die Intelligenz, und zu dem Förderschwerpunkt emotional-soziale Entwicklung, in Bezug auf die soziokulturellen und psycho-sozialen Faktoren, Parallelen zum Förderschwerpunkt Lernen gezogen werden. Alle vier Förderschwerpunkte weisen Minderungen in der Wissensaneignung auf und bedürfen einer Förderung in diesem Bereich.

Ulrich Helmich (2020) hat für den Förderschwerpunkt Lernen unterstützende Prinzipien entwickelt:

### **Prinzip der Differenzierung und Individualisierung**

- angemessene und herausfordernde Aufgaben, aus denen keine Über- oder Unterforderung resultiert und unterstützend begegnet werden kann
- Lernhilfe durch die Lehrkräfte, Sonderpädagog:innen oder Mitschüler:innen
- spezifische Lern- und Fördermaterialien

### **Prinzip der Handlungsorientierung**

- Lernangebote auf der Handlungsebene (enaktive Ebene durch Handlung Wissen erschließen, handeln am konkreten Objekt) EIS-Prinzip von Jérôme S. Bruner [34] (enaktiv – ikonisch – symbolisch)
- längeres Verweilen und Unterstützen auf enaktiver Ebene
- behutsamer Abstrahierungsprozess über Modelle und zeichnerische Darstellungen (ikonische Ebene), bis hin zu Zeichen, Buchstaben, Zahlen (symbolische Ebene) [35, S. 173] und Teilchen.

### **Prinzip des Lernens mit vielen Sinnen**

- vielfältige Zugänge zu Lernangeboten und Lernmaterialien (Organoleptik, Bewegung)
- Profit auch für Schüler:innen ohne gravierende Lernschwierigkeiten

### **Prinzip der Strukturierung**

- haltgebende Strukturen, sicherer Rahmen und überschaubare Lernaufgaben
- offene, selbstgesteuerte Lernsituationen und Lernprozesse nur bedingt hilfreich (z.B. Ankerhilfen zur Verfügung stellen zur Formulierung von Beobachtungen etc.)
- gemeinsam mit allen Schüler:innenn vereinbarte Regeln und Rituale (Verhalten im Fachraum, Umgang mit Chemikalien)
- Entlastung durch Helfersysteme in der Klasse (z.B. feste Partner, die auf die Bedürfnisse eingehen können, Sonderpädagog:innen)

## Prinzip der Übung und Wiederholung

- häufige und abwechslungsreiche Übungsmöglichkeiten
- Wiederholungsphasen [36, S. 79].

Diese Prinzipien lassen sich ebenfalls auf andere Förderschwerpunkte übertragen.

Kinder und Jugendliche mit einer Hochbegabung sind in der Gestaltung von *inklusiven* Bildungsangeboten genauso zu berücksichtigen, wie Kinder und Jugendliche mit oder ohne einem sonderpädagogischen Förderbedarf, weil sie zu einem heterogenen Bild im Schulalltag gehören. Zwar sind andere Interventionsmaßnahmen für Schüler:innen mit einer Hochbegabung notwendig, als für Schüler:innen ohne Hochbegabung, sie dürfen in diesem Aspekt allerdings nicht vernachlässigt werden, weil sie Teil unserer Gesellschaft sind.

## 1.10 Hochbegabung

Eine Anzahl oder einen Prozentsatz anzugeben, wie viele Schüler:innen eine Hochbegabung aufweisen, erweist sich als schwierig, weil unterschiedliche Aussagen von den oberen 1 % bis zu den oberen 20 % angegeben werden [37, S. 16]. Eine Anzahl lässt sich nur durch begründete Prognosen einer Leistungsentwicklung von Personen abgeben [37, S. 19].

### 1.10.1 Übersicht

Wie auch die Anzahl an Hochbegabten ist eine eindeutige Definition<sup>5</sup> für Hochbegabung nicht festzulegen.

In der Vergangenheit wurden mehrere Definitionsansätze gegeben. Diese Entwicklung reicht von einer eindimensionalen Sichtweise nach Rost [38] bis hin zur mehrdimensionalen Berücksichtigung unterschiedlicher Variablen, die in verschiedenen Modellen konstatiert wurden. Eines dieser Modelle ist das entwickelte „*Drei-Ringe-Modell*“ von Renzulli [39, S. 217], das Hochbegabung im Schnittpunkt von Begabung, Kreativität und Aufgabenengagement (Interesse, Leistungsstreben und Ausdauer) sieht, die dann überdurchschnittlich hoch ausgeprägt sind. Fragen, die bei diesem Modell offen

---

<sup>5</sup> Ernst Hany hatte 1987 über 100 verschiedene Hochbegabungsdefinitionen zusammengetragen [37, S. 15].

bleiben, sind, wie eine praktische Umsetzung durchführbar ist, ohne exakte Anhaltspunkte zur Diagnostik [40, S. 19 -21].

Ein weiteres Modell zur Hochbegabung ist das „*Münchener Hochbegabungsmodell*“ von Heller unter Mitwirkung seiner Arbeitsgruppe [41]. In diesem Modell sind vier Domänen von Bedeutung:

1. **Begabungsfaktoren** (Prädikatoren) (intellektuelle, kreative, soziale, musikalische, psychomotorische, künstlerische, praktische)
2. **Umweltmerkmale** (Familiäre Lernumwelt, Familienklima, Instruktionsqualität, Klassenklima, Kritische Lebensereignisse)
3. **Nicht kognitive Persönlichkeitsmerkmale** (Stressbewältigung, Leistungsmotivation, Arbeits-/Lernstrategien, (Prüfungs-) Angst, Kontrollüberzeugungen)
4. **Leistungsbereiche** (Kriterien) (Mathematik, Naturwissenschaften, Technik, Informatik, Schach, Kunst (Musik, Malen), Sprachen, Sport, soziale Beziehungen) [42, S. 54]

Wobei die Begabungsfaktoren Einfluss auf alle anderen Domänen haben, die nicht kognitiven Persönlichkeitsmerkmale und Umweltfaktoren sich nicht gegenseitig beeinflussen, allerdings die Begabungsfaktoren und die Leistungsbereiche. Die Leistungsbereiche haben keine Wirkung auf die anderen Domänen. Insgesamt berücksichtigt dieses Modell zentrale leistungsrelevante Faktoren und erklärt die Entstehung von Leistung [40, S. 19 -21].

Heller definiert Hochbegabung als „[...] ein mehrdimensionales Fähigkeitenkonstrukt in einem Netz von nichtkognitiven (z.B. motivationalen) und sozialen Moderatorenvariablen sowie kriterialen Leistungsvariablen [...]“ [43, S. 24].

Ziegler kritisiert das „*Münchener Hochbegabungsmodell*“ in drei Hauptpunkten:

1. Messung von Intelligenz mit IQ-Tests
2. Zu viele schlecht verstandene Variablen, z.B. Musikalität
3. Individuumszentriert: Unklare Wechselwirkungen zwischen Begabungsfaktoren und Moderatoren [37, S. 51].

In diesem Zusammenhang fordert Ziegler anstelle von Eigenschaften, die an Alltagsbegriffen (Musikalität) angelehnt sind, Prozesse (Lernprozesse) zu betonen. Außerdem weist er auf eine Systematisierung der Wechselwirkungen der Begabungsfaktoren mit den Moderatoren hin, ob diese bidirektional oder multidirektional verlaufen soll. Aufgrund seiner weitreichenden Möglichkeiten ist das „*Münchener Hochbegabungsmodell*“ das weltweit führende Modell [37, S. 51].

Ziegler stellt den intelligenzbasierten Definitionen oder dem „*Münchener Hochbegabungsmodell*“ einen systemtheoretisch orientierten Ansatz entgegen. Bei dem „*Akiotop-Modell*“ stehen Handlungen im Mittelpunkt [37, S. 53].

„*Die Entwicklung von Leistungsexzellenz wird als eine allmähliche Erweiterung des individuellen Handlungsrepertoires gedeutet, während der ein Individuum zu immer komplexeren Handlungen in einer Domäne in der Lage ist.*“ [37, S. 54]

Insgesamt berücksichtigt das Modell vier Komponenten:

1. Umwelt
2. Handlungsrepertoire
3. Ziele
4. Subjektiver Handlungsraum

Auf eine genauere Beschreibung des Modells und der einzelnen Akiotope sei an dieser Stelle nur verwiesen [37, S. 54].

Als Kompromiss zwischen den unterschiedlichen Sichtweisen formulierte das „*International Panel of Experts for Gifted Education*“ folgende Aspekte<sup>6</sup> zur Begriffsklärung von Hochbegabung:

- **Voraussetzung von (Hoch-) Begabung:** bestimmte angeborene Merkmale des kognitiven Apparats (etwa die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Merkmale der Aktivierung oder des Wahrnehmungsapparates).
- **Entwicklung von (Hoch-)Begabung:** Wechselwirkung zwischen Lernumwelt und Individuum. Hochbegabung und hohe Leistungen entwickeln sich nicht automatisch
- **Leistungspotential:** Die Begabung muss erst entwickelt werden und formt sich im Laufe der Entwicklung des Individuums aus.
- **Intelligenz<sup>7</sup>:** stellt einen wichtigen Teil von Begabung dar [45, S. 1].

Uneindeutig bleibt es, Hochbegabung unter Beachtung aller Kriterien z.B. nach dem „*Drei-Ringe-Modell*“ oder dem „*Münchener Hochbegabungsmodell*“ zu diagnostizieren. Eine klarer und präziser Anhaltspunkt auf Hochbegabung, der zwar eindimensional ist, ist die Definition nach Rost über den

---

<sup>6</sup> Eine genau Beschreibung der Aspekte ist in [44, S. 17] zu finden.

<sup>7</sup> Inwiefern soziale Intelligenz, emotionale Intelligenz oder existentielle Intelligenz als eigenständige Intelligenzen angesehen werden, wird noch diskutiert. Konzepte gehen auch dahin, dass es sich um ein Zusammenwirken von Grundfähigkeiten, Wissensbeständen und Eigenschaften der Persönlichkeit handelt und als Stärken hervorgehen [44, S. 18].

Intelligenzquotienten von über 130 [40, S. 19 -21]. Zu beachten sind unterschiedliche Gruppen von Hochbegabten:

**Hochbegabte Underachiever:** Es gibt keine Umsetzung des Potentials in Leistung.

Ursachen sind:

- ungünstige Entwicklungsvoraussetzungen,
- ungünstige Persönlichkeitsmerkmale, oder
- die Hochbegabung wird nicht diagnostiziert, z.B. bei Mädchen aufgrund sexistischer Stereotype bei Lehrer:innen/Eltern, Migrationskindern (geringe Bildungserwartung, sprachliche Fertigkeiten).

**Overachiever:** Die Leistung entspricht ihrem Potential bzw. ihrer Begabung. Eine Ursache dafür sind günstige Persönlichkeitsmerkmale.

**Behinderte Hochbegabte:** Kinder und Jugendliche, die neben der Hochbegabung gleichzeitig eine Behinderung aufweisen z.B der Sinne (Gehör-Sehsinn), des Körpers, der Psyche (Depression, Schulangst, Persönlichkeitsstörungen), Autismus/Asperger-Syndrom oder Hochbegabte mit Teilleistungsstörungen, z.B. Lese-Rechtschreibschwächen (LRS) oder Aufmerksamkeitsstörungen (ADS bzw. ADHS). [45, S. 7]

Für die entsprechende Feststellung einer Hochbegabung ist die pädagogische Psychologie dazu aufgerufen, entsprechende Diagnoseverfahren zu erstellen. Für Schüler:innen, bei denen eine Hochbegabung diagnostiziert wird, gilt es, sie entsprechend ganzheitlich zu fördern.

### 1.10.2 Interventionsmöglichkeiten

Für die Förderung von Hochbegabten sind mehrere Konzepte der Begabtenförderung entstanden. Ziegler sortierte diese nach traditionellen und exzellenzorientierten Förderansätzen. Nach Ziegler gehören zu den „traditionellen Platzierungsstrategien“ die Maßnahmen der Akzeleration (schnelleres Durchlaufen eines Curriculums)

- Vorzeitige Einschulung
- Überspringen einer Klasse
- Teilnahme am Fachunterricht einer höheren Klasse
- Straffung/Kürzung des Lehrplans (Vermeidung von Leerlauf)
- Ferienkurse
- D-Zug-Klassen

und Enrichmentmaßnahmen (Anreicherung des regulären Curriculums durch zusätzliche Veranstaltungen):

- Belegung zusätzlicher Fächer/Wahlkurse
- Extracurriculare Veranstaltungen
- Exkursionen
- Arbeitsgemeinschaften (mit Themenschwerpunkten)
- Privatunterricht
- Sommerkurse, Schülerakademien vgl. [37, 77 ff.].

Weitere Maßnahmen, mit denen Kinder und Jugendlichen nach den Enrichmentmaßnahmen gefördert werden, sind separierende Fördermodelle, sogenannte „*Pulloutmaßnahmen/Pull-Out-Programme*<sup>8</sup>“, wobei Hochbegabte zeitweise den Klassenverband verlassen, um an anderen Kursangeboten teilzunehmen, die einer Vertiefung der Unterrichtsthemen dienen. Weiterhin ist vorgesehen, dass die Schüler:innen in dieser Zeit der Förderungsangebote

- an eigenständigen Projekten arbeiten,
- sich auf Wettbewerbe vorbereiten oder
- an anderen Kursen höherer Klassen oder an der Universität teilnehmen [37, S. 77].

Um Schüler:innen mit einer Hochbegabung optimal zu fördern und zu fordern, werden Programme angeboten, die eine Kombinierung der Akzelerations- und der Enrichmentmaßnahmen vorsehen.

Diese Förderangebote sind allgemein gesehen eine Zuordnung zu pädagogischen Organisationsformen, sodass andere Förderansätze entwickelt wurden. Die konkrete Erziehungsziele sind:

### **1. Interventionsorientierter Förderansatz**

- Förderung (meist Underachiever) mit traditionellen Maßnahmen, die spezifisch auf die (Haupt-) Ursache zielen [37, S. 82].

### **2. Eklektizistischer Förderansatz**

- Identifizierung von erfolgreich angewendeten Fördermaßnahmen, die nach einem Baustein-Prinzip zur Anwendung der allgemeinen Hochbegabtenförderung kommen [37, S. 82].

### **3. Exzellenzorientierte Förderansatz**

- Förderung der Leistungsexzellenz durch eine gezielte fachliche Förderung in einem Spezialgebiet. Ziegler entwickelte die PACE-

---

<sup>8</sup> „Bei Pull-out-Programmen verlassen besonders leistungsfähige Schüler zeitweise den Klassenverband und nehmen an einem strukturierten Curriculum teil.“ [37, S. 79].

---

Prinzipien (**P**rofessionalization, **A**ctiotope **D**evelopment, **C**ommitment und **E**arly Beginning), die der Identifikation von Hochbegabung in der Gesellschaft dienen, um diese dann entsprechend zu fördern. Ein weiteres, auf ihm beruhendes Modell widmet sich der individualisierten Förderung nach den GIFT-Dimensionen (**G**oal-directed **L**earning, **I**ndividualization of **L**earning, **F**eedback und **T**ransfer Tasks) [37, S. 86].

Zuletzt seien Mentorenprogramme erwähnt, die eine hohe Effektivität auf die Entwicklungsprozesse hochbegabter Schüler:innen haben, da sie in einer für sie zugeschnittenen Lernumgebung aufwachsen [37, S. 91]. Eine theoretische Grundlage bietet das bereits erwähnte „*Aktiotop-Modell*“ [37, S. 53].

Gleichwohl bedarf es für die Schüler:innen, Eltern und Lehrer:innen einer Anlaufstelle für Beratungsangebote, um eine optimale Unterstützung und Förderung zu erhalten.

Nach der intensiven Betrachtung der heterogenen Schülerschaft soll im nächsten Kapitel ein Differenzierungsansatz vorgestellt werden, der grundlegende Gestaltungselemente enthält und viele Interventionsmaßnahmen für eine heterogene Schülerschaft abbildet. Ausgangspunkte sind dabei die „*Kooperation am Gemeinsamen Gegenstand*“ [2] und das „*Konzept Chemie fürs Leben*“ [3].

## Kapitel 2 Der Differenzierungsansatz

### 2.1 Unterrichtsansätze in der Allgemeinen und Speziellen Didaktik

Interventionsmöglichkeiten finden sich sowohl in der „Allgemeinen Didaktik“ wozu die „konstruktivistische Didaktik“, „Unterstützende Didaktik“, „Inklusive Didaktik“ zählt, als auch in der „Speziellen Didaktik“. In der „Allgemeinen Didaktik“ sind die Ansätze von Feuser (Entwicklungslogische Didaktik), Wocken (Gemeinsame Lernsituationen) und Hansen (Gestaltpädagogik) zu verorten, die unter der Kernaussage zum Lernen von Peterßen stehen:

„Lernen ist nicht machbar! Lernen ist bloß anregbar (perturbierbar)! Lernen kann nur jeder für sich. Von außen zwar angestoßen, vollzieht jeder seinen Lernprozess für sich selber. Nicht Bilder einer Außenwelt werden beim Lernen aufgenommen und verinnerlicht. Von außen lösen Reize im Lernenden Energieprozesse aus, durch die subjektives Wissen gestaltet wird und eine eigene Wirklichkeit entsteht“ [46, S. 275]

In der „konstruktivistischen Didaktik“ werden alle Bereiche (Institutionen, Personen, Kommunikationsstrukturen, Räume, Materialien usw.) eines vernetzten didaktischen Feldes miteinander verbunden. Ziel ist es, dass die Kinder sich zu autonomen Persönlichkeiten entwickeln, sodass sie sich im Unterricht als handelnde Subjekte organisieren. Dabei werden dem Kind im Rahmen des offenen Unterrichts Sach- und Beziehungsqualitäten zur eigenen Auswahl gestellt. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Organisation des offenen Unterrichts hinsichtlich der individuellen Erziehungs- und Lehrpläne, individueller Arbeitsrhythmus, Ungleichheit des Lernens, Klein- oder Großgruppen, alltagspraktisches Lernen, Arbeit an Stationen, Lernlandschaften, Tagespläne, Wochenpläne, wie auch die freie Arbeit, die bei Kindern mit einer körperlichen Behinderung oft angeleitet wird. Im Sinne des Klassenunterrichts stellen kooperative Tätigkeiten an einem „Gemeinsamen Gegenstand“ nach Georg Feuser [2] die Prämissen dar. Daran anschließend ist der Unterrichtsansatz von Hans Wockens [47, S. 39] für die Unterrichtspraxis zu beachten, in der das Unterrichtsverhalten der Schüler durch bestimmte Faktoren bestimmt ist:

- Koexistente Lernsituationen (Inhalte ihrer Handlungspläne)
- Kommunikative Lernsituationen (Beziehung und Interaktion)
- Subsidiäre Lernsituation (einander unterstützende Hilfe bei Handlungsplänen)

- Kooperative Lernsituation (gemeinsame Ziele und solidarisches Verhalten) [47, S. 39]

Hansen entwickelte unter Berücksichtigung der neuesten Erkenntnisse aus der Lern- und Unterrichtsforschung die „Unterstützende Didaktik“ [48]. Sein Modell basiert auf einem systemisch - konstruktivistischen Grundverständnis von Lernen. Der Fokus liegt dabei auf „*struktureller Koppelung, Anschlussfähigkeit an die Interessen und Lebenssituation der Schüler sowie Viabilität (Passung, Brauchbarkeit) des Lernens*“ [46, S. 282]. Das Ziel des Lernens kann nur erreicht werden, wenn die Lernangebote nach den Interessen des Schülers ausgerichtet sind. Es muss an die Vorkenntnisse angeknüpft werden bzw. Anschlussmöglichkeiten zu dem entsprechenden Thema gegeben werden. Nicht zu vernachlässigen ist der Aspekt der Lebensbedeutung. Nur, wenn dieser deutlich zu erkennen ist, ist der Unterricht erfolgreich. Darauf bezogen sind für die „Unterstützende Didaktik“ fünf Dimensionen handlungsleitend:

### **1. Inhalt**

Nicht rein auf Selbstbestimmung basierende Lernumgebung, sondern Vermischung/ Brücke der konstruktivistischen und der bildungstheoretischen/ fachwissenschaftlichen Didaktik, „Primat des Inhaltes“

### **2. Beziehung**

Kongruente und dialogisch gestaltetet Beziehung sowie Personenzentriertheit, kommunikative Beziehungsgestaltung

### **3. Handlungsorientierung**

Förderung kognitiver und handlungspraktischer Dimensionen des Lernens mittels Lernarrangements. Verknüpfungen von Handlungen mit Denk- und Sachprozessen sowie Reflexion (entdecken, erforschen, ausprobieren, produzieren, verstehen, reflektieren). Handeln und Tun führen zu einem vertiefenden Verständnis der Lerninhalte.

### **4. Methode**

Exemplarisches Lehren und Lernen: Vermittlung verallgemeinerbarer Prinzipien, Kontexte und Gesetzmäßigkeiten anhand einzelner Beispiele

### **5. Emotionen**

Kognitive Prozesse stehen immer in Wechselwirkung und Abhängigkeit mit der emotionalen Ausgangslage und werden von Emotionen wesentlich beeinflusst. Intrinsische Motivation, keine ständige Kontrolle/ Bestimmung seitens der Lehrkraft, da diese die intrinsische Motivation beeinflusst [46, S. 283].

Im Rahmen der „*Inklusiven Didaktik*“ wurden 19 Leitmerkmale für den Unterricht mit körperbehinderten Kindern und Jugendlichen entwickelt, die auch auf andere Förderschwerpunkte angewendet werden können:

<b>1. Unterricht als Angebot</b> Eigenaktivität in Abhängigkeit von der Anschlussfähigkeit des Lerngegenstandes. Das Lernen wird angeregt, das Interesse der Schüler wird aufgegriffen, Inhalte werden angeboten, Schüler werden während des Lernens begleitet	<b>12. Therapieunterstützende Maßnahmen</b> Integration von therapeutischen Maßnahmen in den Unterricht durch Pädagogen. Oft in Form von interdisziplinärer Kooperation zwischen Therapeuten und Pädagogen. Ziel ist die Förderung der Fein- und Grobmotorik der Kinder und Jugendlichen
<b>2. Beziehungsgestaltung</b> Stabile Beziehung zwischen Lehrer und Schüler	<b>13. Einheit von Körper und Geist</b> Körperentwicklung und Körperwahrnehmung als Grundlage der kognitiven Entwicklung
<b>3. Konstruktion und Instruktion</b> So viel Konstruktion (Freiheit in Erkunden, Forschen, Entdecken) wie möglich, so wenig Instruktion (Anleitung, Vorgaben) wie nötig, zur Förderung der Autonomie	<b>14. Interdisziplinarität, Kooperation, Teamarbeit und Beratungskompetenz</b> Arbeiten im multiprofessionellen Team. Dadurch wird eine umfangreiche Fach- und Methodenkenntnis sichergestellt, Bereitschaft zur Selbstreflexion, persönliche Stabilität und Gelassenheit, Empathie (Bewältigung des päd. Alltags)
<b>4. Individualisierung und zieldifferentes Lernen</b> Entwicklungs-biografisch orientierte Lernmethodische und didaktische Differenzierung und Erweiterung führt zu individuellen Lernzielen	<b>15. Struktur und Verlässlichkeit</b> Klare Abläufe, Einübung von Alltagsroutine, Einhalten von Regeln usw.
<b>5. Kooperatives Lernen am gemeinsamen Gegenstand</b> Gemeinsame Themen im täglichen Unterricht individuell gestalten, eher theorie- oder handlungsorientiert	<b>16. Rhythmisierung des Unterrichts</b> Wechsel von Anspannung und Entspannung und von Konzentration und Erholung zur Vermeidung der kognitiven Überforderung, Verlangsamung des Unterrichts
<b>6. Soziale Lernstrukturen gestalten</b> Siehe Wockens Faktoren	<b>17. In Ganzheiten lernen</b> Übergeordnetes Ziel für alle Schüler transparent halten, Aufbau und Entwicklung von neuen Handlungskompetenzen, durch Möglichkeit zur eigenen Exploration und Erkundung innerhalb der Unterrichtseinheit, in Bezug auf Rhythmisierung des Unterrichts
<b>7. Gleitender Übergang vom strukturierten zum offenen Unterricht</b> Heranführung der Kinder an die Unterrichtsform des offenen Unterrichts zur Entwicklung von Kreativitäts- und Handlungskompetenzen sowie zur Selbstbestimmung	<b>18. Kooperation mit anderen Gruppen</b> Gemeinsame Projekte innerhalb und außerhalb der Schule
<b>8. Kommunikation und Interaktion</b> Aufbau von Beziehungen, Aufrechterhaltung des sozialen Dialogs, Gestaltung von Interaktionen, die Stärkung des Selbstbewusstseins durch Selbstbehauptung, usw., ist oft aufgrund der Behinderung eingeschränkt. Förderung der verbalen und nonverbalen Kommunikation, um Anschluss an gesellschaftliche Prozessen zu gewährleisten	<b>19. Transparenz herstellen</b> Inhaltliche und personelle Transparenz, mithilfe von einfachen Kommunikationsregeln für die Gestaltung von Themen. Beeinflussung des Lern- und Arbeitsprozesses durch Sozial-Faktoren: ICH (jedes Individuum und seine Bezüge), WIR (Gruppendynamik), ES (Sachinhalte)
<b>9. Emotionen beachten</b>	

<p>Entschlüsseln der Emotionen von Kindern mit einer Körperbehinderung, sich in die Situation einfühlen und adäquat auf diese reagieren</p> <p><b>10. Schonräume</b> Rückzugsmöglichkeiten</p> <p><b>11. Kreativitätsentwicklung unterstützen</b> Förderung der Eigenständigkeit und Ablassen von gelernten Strukturen, durch die Gestaltung von konstruktivistischem Unterricht und exemplarischem Lernen, Fokus auf Transferleistungen, entdeckendes Lernen, kreative und flexible Problemlösung</p>	<p>und GLOBE (soziale und institutionelle Rahmenbedingungen). Transparente Gestaltung durch die Verbalisierung der Beziehungsfaktoren bezüglich der Sachinhalte.</p>
--	--

**Tabelle 6: Leitmerkmale der Inklusiven Didaktik**

Quelle: [46, S. 288]

In der „*Speziellen Didaktik*“ werden für Kinder und Jugendliche Förderdimensionen wirksam und dienen der Bewältigung ihrer Lebenssituation und individuellen Lebensgestaltung. Eine wichtige Rolle spielt dabei der Aufbau einer stabilen Beziehung zu diesen Kindern, sobald sie in die „Institution Schule“ kommen. Mit einer respektvollen Haltung gegenüber dem Potenzial der Kinder kann ein Unterricht geplant und durchgeführt werden.

#### Förderdimensionen der Speziellen Didaktik:

- 1. Psychomotorische Dimension** [Bewegungsförderung]
- 2. Kognitive Dimension** [Förderung von Sensorischer Kognition, Kognition und Sprache]
- 3. Sozial-kommunikative Dimension** [sprachlich und soziale Kompetenzen fördern]
- 4. Emotionale Dimension** [positives Selbstwertgefühl und soziale Beziehungen entwickeln und fördern]
- 5. Psychosexuelle Dimension** [Förderung der kindlich-lustvollen Beziehung zum eigenen Körper und zum Umfeld]
- 6. Ästhetisch-kulturelle Dimension** [Kennenlernen und Pflege kreativen Ausdrucks]
- 7. Wertstiftende Dimension** [Auseinandersetzung mit behinderungsspezifischen Grundproblemen und Sinnfindung] [46, S. 291]

Lehrkräfte, die Schüler mit einer Körperbehinderung unterrichten „[...] sind auf ihr theoretisch fundiertes, breit gefächertes Fachwissen (allgemeine Fachdidaktiken, Psychologie, Medizin) und ihre Kreativität bei der Gestaltung des Unterrichts angewiesen [...]“ [46, S. 292]. Außerdem muss auf die gesendeten Bewegungs- und Verhaltenssignale der Kinder eingegangen werden. Diese geben Hinweise auf unterstützende, individuelle und aktuelle

Entwicklungsschritte. Wichtigster Punkt, bei allen beschriebenen Modellen, ist es, die Kinder und Jugendlichen ganzheitlich zu betrachten.

Für die Planung und Umsetzung von Unterricht sind die zehn Merkmale von Meyer [49, S. 24] oder die neun zentralen Merkmale nach Helmke [50] im Sinne eines guten Unterrichts heranzuziehen und zu berücksichtigen. Die aufgestellten Merkmale vom Meyer und Helmke gleichen sich in mehreren Punkten, zeigen jedoch auch Abweichungen z.B. beim Klassenmanagement, bei der Motivierung, Unterstützung und Selbstwirksamkeit, bei der Wirkungs- und Kompetenzorientierung sowie der Aktivierung.

Ziel ist es, dass die Schüler:innen alles für sie Wichtige erfahren, grundlegende Fähigkeiten und Fertigkeiten erkennen und nach ihren Möglichkeiten weiterentwickeln. Dieser Lernprozess soll angestoßen und gefördert werden und das in einer Form, wie es für die Schüler:innen am optimalsten ist. Im Mittelpunkt steht dabei das Individuum in seinem Lernprozess, worauf aufbauend ein Unterricht mit differenziertem Material zu gestalten ist.

## 2.2 Differenzierung

Der Begriff Differenzierung wird nach Paradies und Linser wie folgt definiert:

*"Differenzierung in der Schule und im Unterricht begreift Individualität als konstitutive Basis und verfolgt nur ein einziges Ziel: Jeder einzelne Schüler soll individuell maximal gefordert und damit optimal gefördert werden. Das individuelle Leistungsvermögen und das Lernverhalten sind Grundlage für differenzierende Maßnahmen auf der inhaltlichen, didaktischen, methodischen, sozialen und organisatorischen Ebene." [51, S. 10]*

Für Paradies und Linser bedeutet die Differenzierung eine Unterscheidung, Verfeinerung, Abstufung und Aufteilung der Lerninhalte. Um den individuellen Lernbedürfnissen der Schüler:innen gerecht zu werden, bedarf es in Bezug auf Unterricht differenzierter Lernsequenzen und entsprechender Unterrichtsmaterialien [51, S. 10].

Die Differenzierung im Kontext Schule erfolgt auf zwei Ebenen, zum einen die Ebene der äußeren Differenzierung (Schulform, Schulprofil, Jahrgangsklasse) und zum anderen die Ebene der inneren Differenzierung. In der zuletzt genannten Ebene werden vor allem schulorganisatorische und didaktische Inhalte, wie die lernspezifischen Voraussetzungen der Lernenden (didaktische Differenzierung), schulorganisatorische Differenzierung (pädagogische, didaktische, methodische und soziale Prinzipien) und Interessen- und Wahldifferenzierung der Schüler:innen thematisiert, die nun weiter fokussiert

werden [51, S. 24]. Die Differenzierung des Unterrichts erfolgt in den Dimensionen Lerntempo, Zugangsweise, Anspruchsniveau, Lerninhalten und Lernzielen. Es können zwei Strategien der Differenzierung verfolgt werden. Bei *geschlossener Differenzierung* erfolgt die Auswahl des Lernangebots ausschließlich durch die Lehrkraft. Die individuell ausgearbeiteten Unterrichtsmaterialien, wie Pflichtaufgaben von Stationen oder Aufgaben mit gestuften Anforderungsniveaus, werden den Lernenden zugewiesen. Diese Verantwortung wird hingegen bei der Selbstdifferenzierung oder „offenen Differenzierung“ mit den Schüler:innen geteilt. Dazu werden gemeinsame Lernangebote so gestaltet, dass die Kinder und Jugendliche diese auf unterschiedlichen Wegen und Niveaus bearbeiten können [52, S. 36]. Leuders und Prediger beschreiben in diesem Zusammenhang Kernprozesse der Differenzierung, die in Abbildung 10 zusammengefasst sind.

### Differenzierung nach Kernprozessen

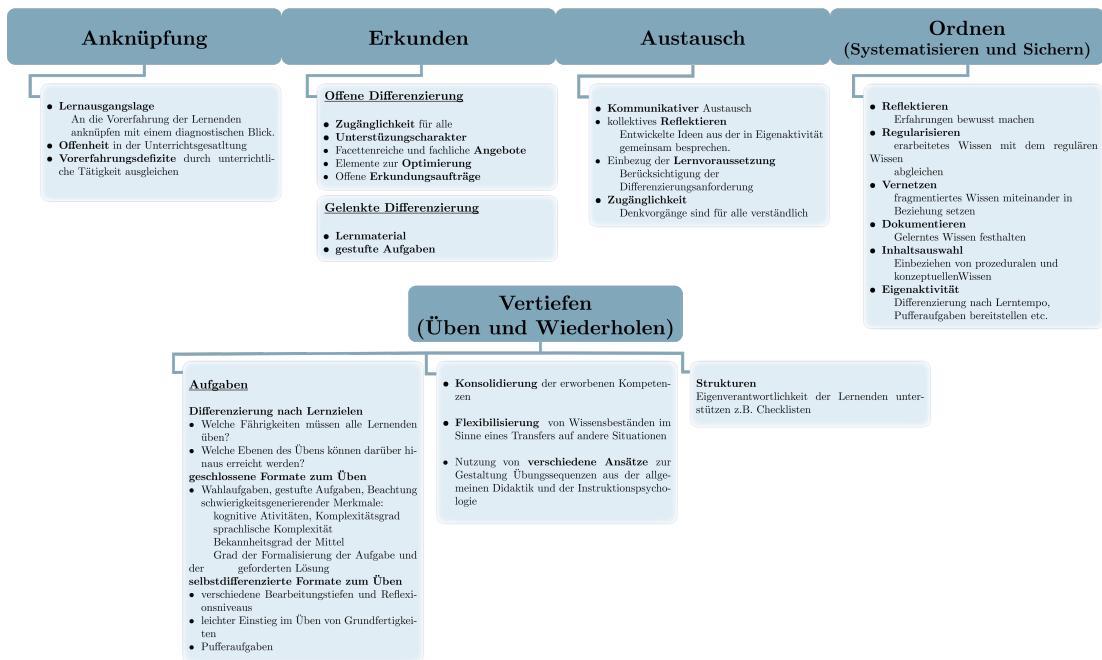


Abbildung 10: Kernprozesse der Differenzierung nach Leuders und Prediger

Quelle: verändert nach [52, S. 38]

Unterschiedliche Differenzierungsansätze sind bereits nach Klafki relevant. Ein vielfältiges Angebot mit wechselnden Schwerpunktsetzungen kann den unterschiedlichen Lernvoraussetzungen und Anforderungen gerecht werden. Das Modell der Kernprozesse von Leuders und Prediger verknüpft allgemeine Überlegungen der Psychologie des individuellen Lernens mit der institutionellen Notwendigkeit schulischen Unterricht als Prozess des

gemeinsamen Lernens in einer Klasse [52, S. 36]. Anhand dieser Übersicht wird deutlich, in welchen Bereichen eine Differenzierung des Unterrichts möglich ist.

### 2.3 Differenzierung im Chemieunterricht

Der Anfangsunterricht Chemie weist mehrere Themengebiete auf, die in den Klassenstufen sieben bis zehn unterrichtet werden. Anhand einer Umfrage zum Chemieunterricht konnten Schlüsselstellen, bei denen die größten Lernschwierigkeiten auftreten, identifiziert werden.

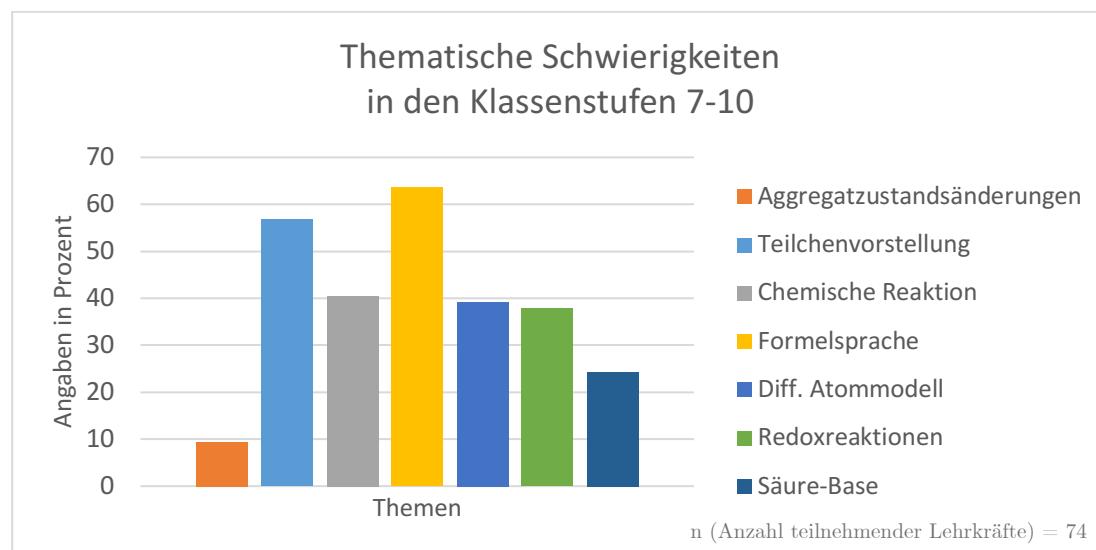


Abbildung 11: Grafik zu den Problemstellen im Chemieunterricht

Nach Angabe von 74 Lehrkräften, die bereits inklusiv unterrichten, sind vor allem das Einführen der Formelsprache (63,5 %) und die Teilchenvorstellung (56,8 %) Problemstellen im Curriculum des Chemieunterrichtes. Die geringsten Schwierigkeiten bereitet das Thema der Aggregatzustandsänderung (9,5 %) und hängt vermutlich damit zusammen, dass die Aggregatzustände mit den Aggregatzustandsänderungen bereits seit der Primarstufe unterrichtet wurden und sich somit ein immanenter Wissensstand aufgebaut hat.

Um Unterricht für alle Schüler:innen zu gestalten, müssen Konsequenzen aus den dargestellten Kernprozessen der Differenzierung gezogen werden. So sollten die Themengebiete an den Vorerfahrungen der Lernenden bzw. an derer Lebenswelt anknüpfen und sich an ihr orientieren. Erst durch das intrinsische Interesse der Schüler:innen an einem Thema kann der Lernprozess erst erfolgreich initiiert werden. Erfolgen kann dies innerhalb des Unterrichts durch die Betrachtung von aktuellen Themen und Inhalten sowie dem Herstellen eines Alltagsbezuges z.B. mithilfe der Verwendung von Stoffen aus dem Alltag. Wird

dieser als Prämisse gesetzt, hat man einen wesentlichen Ankerpunkt für einen Unterricht für alle Lernenden. Um allen Schüler:innen gerecht zu werden, entstehen Unterrichtsmaterialien mit verschiedenen Anforderungsniveaus. So versuchen Chemielehrbücher durch Vorgabe von unterschiedlichen Aufgabenniveaus Differenzierungsmöglichkeiten anzubieten. Dieses pauschale Vorgehen kann für die Schüler:innen in einer Kategorisierungsfalle enden.

Das Konzept „*Chemie fürs Leben*“ verfolgt seit seiner Entwicklung mehrere Grundsätze in einem ganzheitlichen Ansatz:

1. Chemie und Allgemeinbildung,
2. Chemie und Alltag,
3. Einbeziehung aktueller Themen,
4. Vermittlung unverzichtbarer fachlicher Inhalte,
5. Schüleraktivitäten,
6. Berücksichtigung geistiger Fähigkeiten (eine ausführliche Darstellung ist in [3] zu finden),

Dabei wird einem „*roten Faden*“ gefolgt, der logisch die fachlichen Inhalte auf die Vorkenntnisse der Schüler:innen aufbaut. Durch die Forderung an einen Chemieunterricht, der nach Christen zukünftigen „Nicht-Naturwissenschaftler“ einfache grundlegende chemische Zusammenhänge zu erkennen und zu beurteilen ermöglicht, die in seinem persönlichen Umfeld eine Rolle spielen [53, S. 2]. Wenn die Lernenden sich im Unterricht mit naturwissenschaftlichen Themen auseinandersetzen, die handlungsorientiert sind und eine Bedeutung aus ihrem persönlichen Umfeld besitzen, entspricht dies Feusers Vorstellung zur „*Kooperation an einem Gemeinsamen Gegenstand*“ [54, S. 5], indem die Welt mit dem Menschen verknüpft wird.

Die Aufgabe von Pädagog:innen ist es, effektive Lernsettings zu entwickeln, Feedback zu geben, Instruktionen zu geben etc., um jedem Individuum eine Erweiterung ihres Handlungsrepertoires zu ermöglichen [37, S. 53]. Leisen beschreibt dazu im Sinne der Kompetenzvermögen von Schüler:innen, wie Lehrer:innen eine folgenreiche Entscheidung bezüglich der Aufgabenstellung treffen können. Erfolgt von der Lehrkraft eine Orientierung an leistungsstarken Schüler:innen, werden leistungsschwache Schüler:innen überfordert. Findet eine Orientierung an den leistungsschwachen Schüler:innen statt, werden die leistungsstarken Schüler:innen unterfordert. Dieses Verfahren zur Realisierung des Unterrichts birgt die Gefahr einer Tendenz zur Niveauabsenkung. Anstelle einer „*Homogenisierung nach unten*“, schlägt Leisen eine „*Heterogenisierung nach oben*“ vor, sodass die Schüler:innen an ihren Aufgaben wachsen und

mithilfe von für sie passenden Unterstützungen die nächsten Komplexitätsgrade nach dem Scaffolding-Prinzip verstehen können [55, S. 11].

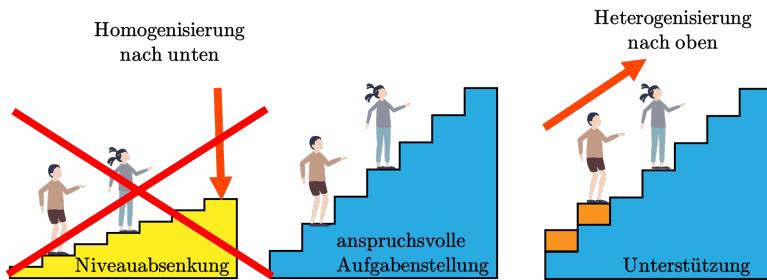


Abbildung 12: Prinzip der Differenzierung

Quelle: nach Leisen [55, S. 11]

Die einzelnen Stufen aus der Abbildung 12 entsprechen einer bestimmten Leistung eines Handlungsrepertoires in einer Domäne, die von der Zeit abhängig ist. Durch die Erweiterung oder Entwicklung des individuellen Handlungsrepertoires ist ein Individuum zu höheren Leistungen fähig. Dieses Modell entspricht dem Vorgängerprinzip:

*„Das Vorgängerprinzip besagt, dass der nächste Lernschritt nicht durch basale Eigenschaften des kognitiven Systems begrenzt wird, sondern dadurch, dass eine notwendige vorangegangene Lernstufe nicht gemeistert wurde.“* [37, S. 53]

Das im Folgenden angewandte Differenzierungsvorgehen zur Gestaltung eines Chemieunterrichts für **alle** Schüler:innen basiert auf den folgenden zentralen Bestandteilen:

- „Kooperation am gemeinsamen Gegenstand“ nach Feuser [54, S. 5] im Sinne eines handlungsorientierten Chemieunterrichts nach dem Konzept „Chemie fürs Leben“ nach Flint, unter weitestgehender Anwendung des „forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens“ nach Schmidkunz und Lindemann [56, S. 23].
- Formulierung von Aufgabenstellungen unter dem Aspekt der „Heterogenisierung nach oben“ nach Leisen [55, S. 11].
- Systematisches Vorgehen in der Entwicklung und Bereitstellung von unterschiedlichen Zugangs wegen/Unterstützungsangeboten.

Mithilfe dieses Vorgehen sollen die Schüler:innen innerhalb des „roten Fadens“ (curricularen Verlauf durch den Chemieunterricht) so viel Wissen aufbauen, wie es ihnen unter Anstrengung und pädagogischen Unterstützungsangeboten möglich ist, und sich unterschiedliche Zugänge zur Chemie erarbeiten. Dadurch erlangen die Schüler:innen ein notwendiges Basiswissen, um sich weitere Phänomene zu erklären und dem „roten Faden“ im Chemieunterricht folgen zu können. Zudem wird durch diese Vorgehensweise eine Kategorisierung der

Schüler:innen vermieden, indem nicht nach Leveln der Niveauabstufung unterschieden wird. Außerdem erfolgt keine Aufsplitterung innerhalb des Klassenverbandes, sodass für die Schüler:innen individuelle Lernwege entstehen und nur eine eingeschränkte Kommunikation und Kooperation untereinander stattfindet. Im Zentrum des kontinuierlichen Wissensaufbaus im Chemieunterricht steht die experimentelle Tätigkeit und das Beobachten von Phänomenen mit der anschließenden Interpretation, unter der Verwendung von geeigneten Modellen. Dieser Prozess stellt den „*Gemeinsamen Gegenstand*“ in einem Chemieunterricht dar, um so „[...] (a) die erkenntnisrelevante Seite eines bestimmten Ausschnittes der Welt und (b) die Erkenntnis bildende Seite der erlebensrelevanten tätigen Auseinandersetzung eines handelnden Subjekts mit einem bestimmten Ausschnitt der Welt [...]“ [57, S. 4] zu verknüpfen.

In der inklusiven Gestaltung von Unterricht wird das Konzept „*Chemie fürs Leben*“ um den Aspekt der Inklusion erweitert. Dazu sind entsprechende Unterrichtsangebote bereitzustellen, die dem „roten Faden“ folgen und Unterrichtsmaterialien zu planen, zu erstellen und zu verbreiten, damit Lehrer:innen den Unterricht inklusiv umsetzen können.

Der Chemieunterricht muss viele verschiedene Dimensionen zur Differenzierung des Unterrichts bedienen. Welches Modell, welche Dimensionen und welche Form Unterricht in einem inklusiven Lernsetting am wirksamsten sind, wird die weitere Entwicklungsarbeit und Forschung herausstellen. Davon unberührt bleibt die Tatsache, dass chemische Themen, die mit einer Experimentiertätigkeit einhergehen, der „*Gemeinsame Gegenstand*“ in allen zu berücksichtigenden Dimensionen während des Chemieunterrichts sind.

Das *Experimentieren* bildet dabei eine von zwei wirksamen Säulen des Chemieunterrichts neben der **Arbeit mit Modellen** [58, S. 45]. Letzteres bildet die Säule, die u.a. der Deutung von beobachteten Phänomenen auf der submikroskopischen Ebene und der Voraussage von Phänomenen dient. Das Experimentieren ist Ausgangspunkt und „*Gemeinsamer Gegenstand*“ des Chemieunterrichts und kann in unterschiedlichen Kontexten geschehen, z.B. als Einstieg und Motivation in eine Unterrichtsstunde, als Einführung in ein neues Stoffgebiet, zur Verifizierung oder Falsifizierung von Hypothesen, zur Erkundung, zur Übung und Wiederholung oder zur Bewertung.

Aus diesen essenziellen, tätigkeitsorientierten Anwendungsfeldern leitet sich die Frage zur Form eines Chemieunterrichts für alle ab:

Wie kann Chemieunterricht praktisch und konkret für alle Schüler:innen geplant, systematisiert und umgesetzt werden?

Die vorangegangenen Modelle der Allgemeinen, Inklusiven und Speziellen Didaktik beschreiben Dimensionen von Unterricht und Schule für eine gelingende Inklusion in der „Institution Schule“, sodass unter diesen Vorgaben ein gemeinsamer Unterricht zu planen und zu gestalten ist. Im naturwissenschaftlichen Unterricht, und insbesondere im Chemieunterricht, ist dies besonders gut möglich, da fast alle geforderten Dimensionen berücksichtigt werden können, insbesondere das explorative Verhalten, die Neugier, der Forschergeist und das Interesse an naturwissenschaftlichen Phänomenen. Zentrale Vorgehensweise dabei ist die Methode des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens nach Schmidkunz und Lindemann [56, S. 23], die durch den Einbezug der Interessen der Schüler:innen und das Experimentieren eine Handlungsdimension aufweist, die in anderen Schulfächern fehlt. Diese Methode muss jedoch die Daseinsformen aller Schüler:innen mit ihren individuellen Voraussetzungen erfassen, sodass Unterricht für alle gelingen kann. Einen ersten Ansatzpunkt in der Vorgehensweise dazu liefert das Modell von Walter Hussy [59, S. 8] mit den Determinanten der Problemschwierigkeit. Allgemein kann aus dem Modell abgeleitet werden, in welchem Maße ein Problemgrund und die Erarbeitung der Lösung durch Informationsgabe (Vorlage von Informationen) von der Lehrkraft beeinflusst werden kann [59, S. 46].

Angesichts der wachsenden Heterogenität in den Klassen und den bisher bekannten Fehlvorstellungen von Lernenden ergibt sich eine grundsätzliche Fragestellung der Differenzierung eines Chemieunterrichts für alle Schüler:innen. Um eine Systematisierung zur Differenzierung beim Experimentieren zu ermöglichen, wurde im Rahmen dieser Arbeit die „*3D-Planungshilfe*“ entwickelt.

## 2.4 Die 3D-Planungshilfe

Für die Gestaltung von Unterrichtseinheiten eignen sich z.B. Kompetenzraster und Differenzierungsmatrizen nach Ada Sasse [60, S. 20], die eine thematische und kognitive Komplexität erkennen lassen. Ebenso verhält es sich mit Lernstrukturgittern nach Reinhard Kutzer [61, 143]. Diese Strukturen sind allerdings für die Ausgestaltung des konkreten Unterrichtsmaterials in Form abgestufter Materialien für eine Unterstützung von Schüler:innen nach einem Scaffolding-Prinzip kaum nutzbar. Wenn es um die Differenzierung eines Experiments geht, so bedarf es einer anderen Planungshilfe, um Schüler:innen strukturiert zu unterstützen. Aus diesem Grund wurde die **3D-Planungshilfe**

als systematisierendes Instrument entwickelt, die sich aus drei Dimensionen zusammensetzt.

Die Grundlage der ersten Dimension stellt der Komplexitätsgrad des von Bernholt, Parchman und Common entwickelten MHC-Modells (Model of Hierarchical Complexity) [62, S. 229] dar, indem ein Experiment auf seine elementar zu vermittelnden Bestandteile reduziert wird. Es greift dabei zum Teil auf die Stufentheorie von Jean Piaget zurück, fokussiert jedoch eher das Neo-Piaget-Modell<sup>9</sup>. Die Stufen sind als ein Muster zum Aufbau von domänenspezifischen Fähigkeiten zu verstehen, die als Basis Konstruktions- und Koordinationsvorgänge beinhalten. Zu beachten ist, dass höhere Stufen eine Verknüpfung unterer Stufen darstellen, wobei keine beliebige Verknüpfung oder einfache Aneinanderreihung von Inhaltselementen erfolgt.

Hierarchische Stufen	Beschreibung
Stufe 1: Unreflektiertes Erfahrungswissen	Beinhaltet außerunterrichtliche Wissensbestände ohne ein fachsystematisches Gefüge.
Stufe 2: Fakten	Beinhaltet die Nennung der isolierten Begriffe.
Stufe 3: Prozessbeschreibung	Beschreibung der Beobachtungen während einer Versuchsdurchführung oder der Mechanismenabfolge.
Stufe 4: Lineare Kausalität	Deutung eines Versuchs durch Verknüpfung erster Inhaltselemente im Sinne der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge.
Stufe 5: Wechselseitige Kausalität	Deutungen der Ursache-Wirkungszusammenhänge mit mehreren Variablen.

Tabelle 7: Hierarchische Stufen des MHC-Modells

Quell: nach [62, S. 231]

Die zweite Dimension enthält die von Leisen [63, S. 34] angeführten Abstraktionsgrade und schlüsselt die erste Dimension weiter in ihre

<sup>9</sup> Neo-Piaget-Modell: J. Piagets Entwicklungsstufentheorie zur kognitiven Entwicklung ist aufgrund der starren Stadien nicht aktuell. Forscher:innen wie Case, Fischer, Commons und Demetriou versuchen die individuellen Unterschiede in der kognitiven Entwicklung eines Individuums weiter zu ergründen.

Zugangswege auf. Diese sind Darstellungsformen, die fachliche Sachverhalte verbalisieren.

Darstellungsebene	Beschreibung
Gegenständliche Ebene	Diese Ebene zeigt die konkrete Handlung innerhalb eines Experimentes und wird durch die aktive Handlung der Lehrperson unterstützt bzw. mittels gegenständlicher Abbildungen (Fotos) oder Videos gezeigt.
Bildliche Ebene	Darstellung von Sachinhalten durch ikonische Abstraktionen
Sprachliche Ebene	Zu dieser Ebene gehören unterschiedliche Formen der Sprache [verbal (schriftlicher und mündlicher Form) und nonverbal], z.B. Mind-Maps, Texte, Podcasts, Kommunikation mit anderen Teilhaber:innen.
Symbolische Ebene	Diese Ebene enthält Abstraktion von Modellen, die zur Erklärung eines Phänomens herangezogen werden können bzw. Inhalte strukturieren. Dazu zählen keine „formal-algebraische“ Gleichsetzung, sondern Verbindung des Zeichens mit Regeln, Merkmalen [64, S. 16].
Mathematische Ebene	Abstrakte Symbolisierung von Sachverhalten z.B. Formeln.

Tabelle 8: Abstraktionsgrade

Quelle: nach Leisen [63, S. 34]

Um weitere Zugangswege für die Schüler:innen zu eröffnen, werden die Abstraktionsgrade weiter aufgeschlüsselt, indem eine dritte Dimension in das systematisierende Schema aufgenommen (Abbildung 13) wird. Es ergibt sich der Grad, inwieweit eine Unterstützung die Schüler:innen zur Lösung lenkt und wie viel eigenständige kognitive Leistung noch erbracht werden muss. Die drei vorgegebenen Impulse geben einen Richtwert vor und müssen nicht zwangsläufig erfüllt bzw. können auf einem Komplexitätsgrad eines bestimmten Abstraktionsgrades auch aus mehr als drei Impulse entwickelt werden.

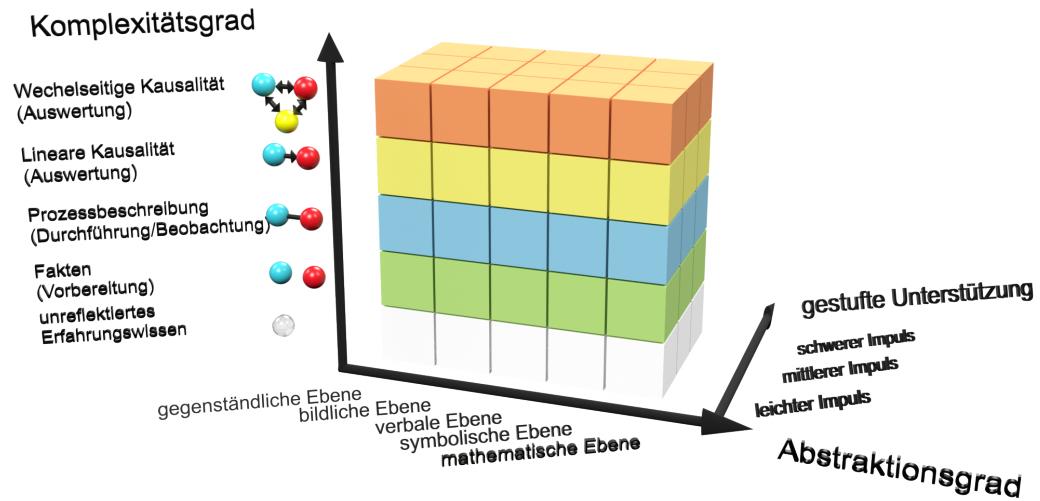


Abbildung 13: Die dreidimensionale Planungshilfe zur Differenzierung eines Experimentes unter Berücksichtigung der Impulsstärke

Insgesamt ergibt sich damit eine Pluralität an Zugängen und keine Hierarchisierung der Kognition, um bestimmte Aufgaben zu lösen, zum Beispiel beim Experimentieren einer bestimmten Handlungsabfolge zu folgen oder eine Beobachtung fachlich richtig zu beschreiben. Schüler:innen gelangen in Konfrontation mit ihrem Selbst (**Subjektseite**) und einer Aufgabe (**Objektseite**). Sie wirken während ihres Handelns auf der **Tätigkeitsebene** mit ihren individuellen Kompetenzen [54, S. 21]. Das Resultat ist ein Prozess der Äquilibrierung im Sinne der Assimilation und Akkommodation. Die Auswahl an Zugängen und die Menge an Unterstützungsmaßnahmen wird mit dem Potenzial des Lernenden in Einklang gebracht, wenn es um

- sprachliche Schwierigkeiten, z.B.
  - Formulierung einer Beobachtung oder Auswertung: erhöhter Bedarf an Scaffolding zur Förderung der Sprachkompetenzen [29, S. 34],
- Handlungsschwierigkeiten, z.B.
  - Verstehen einer Durchführungsanleitung und Handlung nach dieser: erhöhter Bedarf an gegenständlichen, bildlichen oder verbalen Unterstützungsangeboten,
- oder bei weniger sprachlichen Defiziten, z.B.
  - Deuten eines Phänomens auf der submikroskopischen Ebene und damit auf einer abstrakten Ebene: erhöhter Bedarf an Unterstützungsangeboten z.B. auf der symbolischen Ebene, geht.

Je nach Zielstellung muss abgewogen werden, welche Maßnahmen zu treffen sind, um den betroffenen Schüler:innen effektiv in ihrem Prozess zu unterstützen. Wichtig dabei ist, dass ihnen keine Hilfen aufgekroyiert werden, sondern, dass sie die Wahlmöglichkeit haben. Beratend steht die Lehrperson den Schüler:innen zur Seite.

Die dreidimensionale Planungshilfe verfolgt durch ihren Aufbau einen ganzheitlichen Ansatz und keine Hierarchisierung, die das MHC-Modell suggeriert. Die Struktur wird als systematische Darstellung genutzt, um Optionen zu prüfen, die nach einem Scaffolding-Prinzip erwogen werden können, um unterstützend zu wirken, aber auch zu beobachten, einzuordnen bzw. lernprozessbezogen zu evaluieren. Somit werden unterschiedliche Zugangswege berücksichtigt<sup>22</sup>, damit allen Schüler:innen die Möglichkeit eröffnet wird, von ihrer aktuellen Zone der Entwicklung ihre nächste(n) Zone(n) der Entwicklung [65, 289 ff.] zu erreichen.

In dem nachfolgenden Kapitel wird das Unterrichtskonzept zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells beschrieben, das mit den Aggregatzuständen und den Aggregatzustandsänderungen beginnt, um einen Problemgrund zu formulieren, der die Notwendigkeit aufwirft, die submikroskopische Ebene zur Interpretation von Phänomenen heranzuziehen. Nachfolgend sind die Schüler:innen gefordert, die Richtigkeit dieses Modells experimentell zu beweisen.

## Kapitel 3 Konzept „Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells“

In diesem Kapitel erfolgt eine Heranführung an die Unterrichtssequenz zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells über die Aggregatzustände und deren Phasenumwandlungen in Abhängigkeit von Energie. Die aus diesen Versuchen gewonnenen Erkenntnisse und neu aufgeworfenen Fragen können zunächst mithilfe des undifferenzierten Teilchenmodells geklärt werden, sodass die Schüler:innen ein Verständnis über den Bau der Stoffe erhalten. Unabdingbar ist dabei die Auseinandersetzung mit Modellen, die durch Vereinfachung die Erklärung von Phänomenen veranschaulichen. Dadurch sollen die Schüler:innen in die Lage gebracht werden, die Anordnung der Teilchen im entsprechenden Aggregatzustand, die Diffusion- und Lösungsvorgänge, die Bewegung der Teilchen bei unterschiedlichen Temperaturen sowie deren unterschiedliche Größe zu beschreiben. Bevor die Unterrichtssequenz zur Einführung der Teilchenvorstellung in einem inklusiv gestalteten Setting durchgeführt werden kann, bedarf es zunächst einer gemeinsamen Basis zu den fachlichen Inhalten über die Aggregatzustände und deren Phasenumwandlungen.

Für inklusiv gestaltete Lehr-Lernsettings im Chemieunterricht spielt das Konzept „Chemie fürs Leben“ eine zentrale Rolle, wobei der Alltag die Ausgangssituation für alle Schüler:innen sowie von fast jeder Person in Bezug auf das gemeinschaftliche Beisammensein ist. Aus diesem Grund werden für den Unterrichtseinstieg Situationen aus exakt dieser Begebenheit genutzt. Eine dieser Möglichkeiten ist die Gestaltung einer Party, eines Spieleabends, einer Geburtstagsfeier, einer Einschulung und andere Szenarien, wozu unterschiedliche Utensilien, Lebens- und Haushaltsmittel benötigt werden. Beispielhaft können für einen solchen Anlass Gegenstände zusammengetragen und betrachtet oder eine Fotografie/Film angeführt werden. Anhand dieser Gegenstände soll herausgearbeitet werden, was diese nun mit Chemie zu tun haben, um abzuleiten, womit sich Chemie grundsätzlich beschäftigt. Collin [66, S. 126] beschrieb dazu eine Vorgehensweise, die an genau diese Alltagssituationen anknüpft. In ihrer Arbeit werden zu Beginn der Unterrichtseinheit Gegenstände nach den Kriterien: Verwendung, Material, Eigenschaften und Aggregatzustände geordnet. Im Zuge dessen gehen die Schüler:innen gemeinsam mit der Lehrkraft auf die Merkmale zur Verwendung, zum Material und zu den Eigenschaften der verschiedenen Stoffe ein. Der Schwerpunkt des Lerngegenstandes bezieht sich auf den Unterschied von Stoff

und Körper sowie bereits einige allgemeine Eigenschaften, wie zum Beispiel die Brennbarkeit. Die Betrachtung der Aggregatzustände wird in dem ersten Teil der nachfolgenden Unterrichtsequenz abgehandelt, unter Berücksichtigung der Schüler:innenvorstellungen zu den Aggregatzuständen. Hierzu hat Collin aus einer Reihe von Untersuchungen folgende häufig vorkommende Vorstellungen der Lernenden zusammengetragen:

Vorstellungen von Schüler:innen	
<b>Prototypen für Flüssigkeiten und Feststoffe.</b>	Wasser, als farblose Flüssigkeit, stellt für Schüler:innen den Prototyp zur Beschreibung von Flüssigkeiten allgemein dar. Für Feststoffe gibt es keine Prototypen [67, S. 413]
<b>Zwischenkategorien</b>	Schüler:innen sortieren Stoffe, bei den sie sich unsicher sind, in eine Zwischenkategorie (weder fest, noch flüssig) ein. Schwer zuzuweisende Stoffe sind z.B. Knete, Watte, loser Zucker, Honig u.a. [67, S. 413].
<b>Weite Definition des Begriffs „flüssig“</b>	Zähflüssige und pulverförmige Stoffe werden von 20 % der Schüler:innen nicht richtig klassifiziert [67, S. 413].
<b>Enge Definition des Begriffs „fest“</b>	Nur starre Formen/Zustände von Stoffen werden als fest klassifiziert. Stoffe wie Knete, Watte, Schwämme werden von 50 % der Schüler:innen nicht den Feststoffen zugeordnet [67, S. 413].
<b>Gase sind nicht materiell.</b>	Gase werden per se von Schüler:innen nicht wahrgenommen. Lediglich durch die Bewegung der Luft (Wind) sind sie für sie fühlbar [68, S. 27; 69, S. 42; 70, S. 556].
<b>Gase haben gefährliche Eigenschaften.</b>	Gase besitzen für Schüler:innen die Eigenschaften brennbar, giftig und explosiv [68, S. 27; 71, S. 73].
<b>Gase sind luftähnlich.</b>	Gas ist eine Substanz und wird nicht in Bezug zum Aggregatzustand gesehen. Luft ist aber nicht gleich Gas, da dieses schwerer oder leichter als Luft ist [71, S. 74].
<b>Gase sind flüssig.</b>	Butan und Propan werden als Gase für Kartuschen und Feuerzeuge verwendet. Der Umstand, dass Gase in diesen flüssig sind, führt zu Unverständnis bei den Schüler:innen [71, S. 76].
<b>Gase sind dampf-, nebel- oder rauchförmig.</b>	Schüler:innen vermischen fachliche Inhalte miteinander. Daraus ergeben sich Aussagen zwischen dem Begriff Gas und den Begriffen zu den Stoffgemischen [71, S. 76].
<b>Durch Verdampfen oder Sublimieren eines Stoffes existiert dieser nicht mehr.</b>	Stoffe existieren für Schüler:innen nur wenn sie sichtbar sind. Das Verdampfen und das Sublimieren sind für die Schüler:innen nicht umkehrbar [72, S. 249].

Massenab oder -zunahme bei  
einer  
Aggregatzustandsänderung.

Schüler:innen gehen davon aus, dass Eis hart und fest ist und somit schwerer als die gleiche Menge flüssiges Wasser. Wasser dehnt sich beim Erstarren aus, sodass eine Massenzunahme suggeriert wird [72, S. 249].

**Tabelle 9: Kurzzusammenfassung der Schüler:innenvorstellungen zu den Aggregatzuständen**

Der Ausgangspunkt zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells sind die Aggregatzustände und die Aggregatzustandsänderungen. Dieser Unterrichtsgegenstand soll zunächst mit den Schüler:innen wiederholt werden, um dann aufkommende Phänomene zu behandeln, die auf der phänomenologischen Ebene an ihre Erklärungsgrenze kommen und für die ein Modell herangezogen werden muss. Für diese Vorgehensweise ergibt sich experimentell folgende Konzeption:

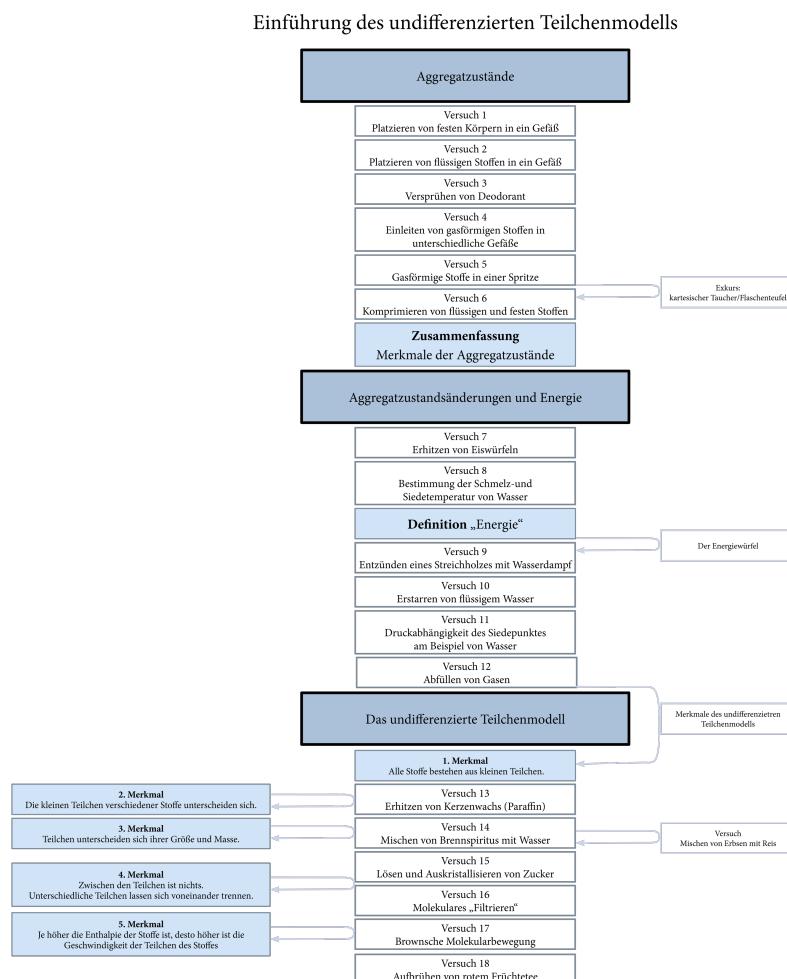


Abbildung 14: Übersicht zum Konzept zur Einführung der Teilchenvorstellung

### 3.1 Aggregatzustände

Zu Beginn sollen die Schüler:innen wiederholen bzw. festigen, wie Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase phänomenologisch wahrzunehmen sind.

- **fest:** Metallbesteck, Alufolie, Topf, Zucker, Margarine, Spielbrett, Figuren
- **flüssig:** Lampenöl, Fleckenwasser, Wasser, Spiritus, Brause (Getränke)
- **gasförmig:** Kohlenstoffdioxid, Feuerzeuggas, Helium, Luft

Nach der Zuordnung einzelner Gegenstände zu den Aggregatzuständen werden die Merkmale der Zustandsformen erarbeitet. Dieser Schritt ist insofern wichtig, da es Gegenstände gibt, die sich nicht leicht zuordnen lassen, wie z.B. Ketchup, Honig, loser Zucker oder Feuerzeuggas.

Es kann sich für die Schüler:innen die Frage ergeben, ob es generelle Unterscheidungsmerkmale zwischen den Aggregatzuständen gibt, die dabei helfen, verschiedene Stoffe den jeweiligen Aggregatzuständen zuzuordnen. Am Ende sollen die Lernenden über eine entsprechende Systematik verfügen, wobei in erster Linie das Verhalten der Form auf der phänomenologischen Ebene eines Stoffes von Bedeutung ist.

Um die Stoffe den Aggregatzuständen zuzuordnen bedarf es bestimmter Kriterien, die experimentell zu erarbeiten sind.

#### *Versuch 1: Platzieren von festen Körpern in ein Gefäß*

*Schülerexperiment nach C. Collin [73, S. 23]*

**Geräte:** kleine Kristallisierschale, 100-mL-Becherglas, 100-mL-Erlenmeyerkolben, Mörser mit Pistill, Spatel, Mikroskop

**Chemikalien:** 1 Packung Zuckerwürfel, Eisennagel, Stück Grillkohle

**Durchführung:** Ein Zuckerwürfel, ein Eisennagel und ein Stück Grillkohle werden der Reihe nach einmal in eine Kristallisierschale, in ein Becherglas und in einem Erlenmeyerkolben gelegt.

Der Würzelzucker wird anschließend aus der jeweiligen Form entnommen und in den Mörser gelegt. Mittels des Pistills wird nun der Zuckerwürfel zerstoßen, aber nicht zerrieben. Den zerstoßenen Zucker gibt man erneut in die Gefäße und schwenkt diese. Anschließend betrachtet man den zerriebenen Zucker durch eine Lupe oder unter einem Mikroskop. Bei der Verwendung eines Mikroskops wird auf einen Objektträger (mit Vertiefung) mithilfe eines Spatels

eine kleine Stoffprobe (nur wenige „Krümel“) gegeben. Der Zucker wird dann unter der Vergrößerungsoptionen 40- und 100-fach beobachtet.

**Beobachtung:** Die festen Gegenstände liegen in den entsprechenden Gefäßen und verändern ihre Form nicht. Der zunächst „kegelförmige“ Haufen Haushaltszucker hat sich durch die Bewegung verteilt und scheinbar sich der äußeren Form angepasst. Unter der Lupe oder dem Mikroskop sind die festen, kristallinen Strukturen des Zuckers zu erkennen

### **Wesentlicher Lerninhalt (I):**

Zunächst sollen die Schüler:innen durch Platzieren der festen Objekte in einem äußeren Gefäß feststellen, dass die verwendeten Körper ihre Form beibehalten.

### **Didaktische Anmerkung:**

Eine oft auftretende Frage von Schüler:innen ist, ob pulverförmiger Zucker nun im festen oder flüssigen Aggregatzustand vorliegt. Die Lernenden können diese Frage nicht sicher beantworten. Aufgrund dessen wird in der zweiten Hälfte des Versuchs diese Problematik thematisiert. Die Lernenden sollen ein Zuckerkristall in die Hand nehmen und dabei feststellen, dass dieser fest ist und seine Form beibehält. Unter der Lupe und besonders unter dem Mikroskop lässt sich die Struktur eines Zuckerkristalls genauer erkennen. Außerdem wird deutlich, dass sich dieser eben nicht der äußeren Form des Objektträgers anpasst. Zur Betrachtung eines Zuckerkristalls unter dem Mikroskop eignen sich die Vergrößerungsoptionen 40- bis 100-fach. Bei einer 400-fachen Vergrößerung können keine ganzen Kristalle wahrgenommen werden, sondern nur Teilstücke. Von Bedeutung bei der Durchführung des Versuchs ist, dass der Zuckerwürfel nur zerstoßen werden darf. Bei zerriebenem Haushaltszucker können die Strukturen unter dem Mikroskop nicht mehr so gut erkannt werden. Ist der Bestandteil fest, lässt sich die Eigenschaft „fest“ für das Kollektiv ebenfalls bestimmen. Im Zusammenhang mit dieser Thematik kann auf den Zerteilungsgrad einer Stoffproportion Bezug genommen werden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass pulverförmiger (zerstoßener) Zucker ein fester Stoff ist, der sich an eine äußere Form durch **Krafteinwirkung** anpasst. Dabei kann auch noch einmal auf den Unterschied zwischen Stoffen und Körpern eingegangen werden. Dieses kann mit weiteren Beispielen (verschiedene Metalle und Metallpulver) verallgemeinert werden. Die Definition der Eigenschaft fester Stoffe, sich der Gefäßform nicht anzupassen, muss unter Berücksichtigung der ebenfalls festen, pulverförmigen Stoffe erweitert bzw. ergänzt werden.

### **Wesentlicher Lerninhalt (II):**

Feste Stoffe passen sich **nicht** von allein der Gefäßform an.

### Fachliche Anmerkungen:

Das Charakteristikum „fest“ für einen Körper lässt sich nur bei sichtbaren Körpern bestimmen. Der Aggregatzustand ist eine Eigenschaft von makroskopischen, wahrnehmbaren Körpern und kann nicht auf die Teilchenebene übertragen werden.

Für die Charakterisierung von Stoffen als Flüssigkeiten dient zunächst das Kriterium, dass sich eben diese Stoffe freiwillig an eine äußere Gefäßform anpassen. Dazu führen die Lernenden einen Versuch mit flüssigen Alltagsstoffen durch.

### Versuch 2: Platzieren von flüssigen Stoffen in ein Gefäß

*Schülerexperiment nach C. Collin [73, S. 23]*

**Geräte:** kleine Kristallisierschale, 100-mL-Becherglas, 100-mL-Erlenmeyerkolben, Reagenzglas, Reagenzglasständer

**Chemikalien:** Lampenöl, Fleckenwasser, Wasser, Spiritus

**Durchführung:** Lampenöl, Fleckenwasser, Wasser, Spiritus oder andere Flüssigkeiten werden jeweils in die unterschiedlichen Glasgeräte umgefüllt und das Verhalten der Stoffe beobachtet.

**Beobachtung:** Die Flüssigkeiten passen sich der äußeren Form des jeweiligen Gefäßes an und zeigen eine scharfe Begrenzungsfläche (Flüssigkeitsoberfläche).

**Wesentlicher Lerninhalt:** Bei diesem Versuch erkennen die Schüler:innen das Charakteristikum von Flüssigkeiten:

Flüssigkeiten passen sich von allein der Gefäßform an.

Außerdem ist eine begrenzende Fläche wahrzunehmen.

**Didaktische Anmerkung:** Alle vier Flüssigkeiten sind farblose Stoffe aus dem Alltag. Diese Vorgangsweise ist beabsichtigt, da die Schüler:innen farblose Flüssigkeiten sehr oft intuitiv mit Wasser gleichsetzen. Im Verlauf des Anfangsunterrichts werden diese Flüssigkeiten wiederverwendet, um anhand

weiterer Eigenschaften bewusst die Unterschiede zwischen den gleich aussehenden Flüssigkeiten herauszuarbeiten.

Im Fall der gasförmigen Stoffe ist die Anpassung an die Form eines äußeren Gefäßes schwierig darzustellen. Um den Lernenden die Eigenschaft der Gase nahe zu bringen, kann zunächst betrachtet werden, dass sich Gase im Raum verteilen, wenn sie aus einem Druckbehälter kontrolliert entlassen werden.

### Versuch 3: Versprühen von Deodorant

*Demonstrationsexperiment nach Collin C. [73, S. 23] )*

**Geräte / Chemikalien:** Sprühdose mit Deodorant

**Durchführung:** Das Deodorant wird von der Lehrkraft in einer Ecke des Raumes nach oben oder gegen die Wand gesprüht.

**Beobachtung:** Nach nur kurzer Zeit sollte der Geruch des Deodorants überall im Raum wahrnehmbar sein.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Der überall festzustellende Duft lässt sich nur dadurch erklären, dass sich die Riechstoffe aus der Deodorantflasche gleichmäßig im Raum verteilt haben.

**Didaktische Anmerkung:**

Das Deodorant sollte nicht in die Richtung der Schüler:innen versprüht werden, um nicht den Eindruck zu erwecken, dass die Verteilung im Raum durch die Sprührichtung erzeugt wurde.

Aus dem Alltag sind den Schüler:innen unterschiedliche Gase und Gasgemische bekannt. Darunter zählen vor allem Luft und Helium, die unter anderem für Luftballons verwendet werden. Auffällig dabei sind die unterschiedlichen Formen, auf die nun näher eingegangen wird. Die Schüler:innen untersuchen dabei verschiedene Gase, die in verschiedene Gefäße eingeleitet werden.

### Versuch 4: Einleiten von gasförmigen Stoffen in unterschiedliche Gefäße

*Demonstrationsexperiment nach C. Collin [73, S. 23] )*

**Geräte:** Silikonschlauch, Luftballon (unterschiedliche Form), Latexhandschuhe

**Chemikalien:** verschiedene Gase wie Helium, Kohlenstoffdioxid, Feuerzeuggas

**Durchführung:** Die unterschiedlichen Gefäße werden mit den Gasen befüllt. Dazu dient der Silikonschlauch, der mit einem entsprechenden Adapter an die Gasflasche angeschlossen ist, und dessen anderes Ende in die Öffnung des Luftballons oder des Latexhandschuhs ragt.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Das jeweilige Gas wird zunehmend in den Luftballon oder in den Latexhandschuh geleitet. Durch die Volumenzunahme weitet sich der elastische Hohlkörper um ein Vielfaches aus, je mehr Gas hinzugefügt wird.

Nach den **Versuchen 3** und **4** sind folgende Merkmale festzuhalten:

Gase nehmen den **ganzen** ihnen zur Verfügung stehenden **Raum** ein.

Gase passen sich von allein der Form des Gefäßes an.

[73, S. 23]

Vielleicht wundern sich die Schüler:innen darüber, wie aus den Gasflaschen für die einzelnen Gegenstände so viel Gas entnommen werden kann. Um diesen Aspekt näher zu untersuchen, bietet es sich an, folgenden Versuch durchzuführen.

### Versuch 5: Gasförmige Stoffe in einer Spritze

*Schülerexperiment*

**Geräte:** 10-mL-Spritze, Silikonschlauch, Kombistopfen

**Chemikalien:** Kohlenstoffdioxid, Helium, Luft

**Durchführung:** Zunächst wird die Spritze mit etwa 10 mL des jeweiligen Gases gefüllt, dann der Kombistopfen aufgesetzt und die Spritze somit verschlossen. Im Anschluss wird Druck auf den Stempel der Spritze ausgeübt.

**Beobachtung:** Je nach ausgeübtem Druck lässt sich der Stempel der Spritze mehr oder weniger in die Spritze hineindrücken.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Die Lernenden können mithilfe dieser Versuche erkennen, dass sich gasförmige Stoffe komprimieren und dekomprimieren lassen. In diesem Zusammenhang werden die Fachbegriffe **Komprimieren** und **Dekomprimieren** eingeführt.

**Didaktische Anmerkung:** Ein weiterer möglicher Kontext zur Motivierung der Komprimierbarkeit der Gase stellt ein Experiment mit einem sogenannten

Flaschenteufelchen (auch Flaschentänzer, kartesischen Taucher, cartesianische Teufel, Wasserteufel, Drehteufel) dar.

Der nach *René Descartes* (1596-1650) benannte „cartesische Taucher<sup>10</sup>“ ist eine wissenschaftliche Entwicklung des italienischen Forschers *Raffaello Magiotti* (1597-1656) aus dem Jahre 1648. Im Rahmen seiner Untersuchungen zur Inkompresibilität des Wassers [75]. Seit der Entwicklung der Tauchobjekte sind die Formen und Materialien vielfältiger geworden und es existiert ein breites Angebot an Bauanleitungen und käuflich zu erwerbenden Varianten [76].



Abbildung 15: kartesischer Taucher als Qualle und Teufel

Aufgrund der Beobachtungen und Auswertungen zur Komprimierung von Gasen können, unter der Prämisse der naturwissenschaftlichen Neugier, die Schüler:innen nun untersuchen, wie sich flüssige und feste Stoffe unter Ausüben von Druck verhalten.

### Versuch 6: Komprimieren von flüssigen und festen Stoffen

*Schülerexperiment* nach R. Becker und V. Obendrauf [77, S. 91]

**Geräte:** 2 10-mL-Spritze, 2 Kombistopfen, 2 50-mL-Bechergläser, Pulvertrichter

**Chemikalien:** Wasser, Zucker

**Durchführung:** Eine Spritze wird mit Zucker gefüllt und eine zweite mit Wasser befüllt. Dann wird versucht, die Stoffe in der Spritze zu komprimieren, indem Druck mit der Hand auf den Spritzenstempel ausgeübt wird.

**Beobachtung:** Der Stempel der Spritzen lässt sich bei allen untersuchten Stoffen nicht merklich in den Spritzenkörper hineindrücken.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Die Versuche zeigen, dass sich flüssige und feste Stoffe unter diesen Bedingungen nicht merklich komprimieren lassen.

---

<sup>10</sup>Durch die Verwendung des Namens „cartesischer Teufel“ wurde die Entdeckung Descartes zugesprochen. Die Bestätigung der Autorschaft für Magiotti über die Erklärung der Funktionsweise des Apparats erfolgte 1879 [74].

**Didaktische Anmerkung:** Das Befüllen von Spritzen mit weiteren Feststoffen stellt sich in der Hinsicht schwierig dar, als dass diese entweder schlecht in eine Spritze passen, diese brüchig sind (Holzkohle) oder sich verformen lassen (Serviette, Plastikbecher). Die Schüler:innen sollen möglichst nicht durch einen scheinbar komprimierbaren festen Gegenstand auf die Komprimierbarkeit von Feststoffen verallgemeinern, da sich die Verformung und Komprimierung schlecht unterscheiden lassen. Aus diesem Grund wird gewöhnlicher loser Haushaltszucker verwendet. Die Schüler:innen haben durch den **Versuch 1:** bereits die Erkenntnis erlangt, dass es sich bei kristallinem Zucker um einen Feststoff handelt.

### 3.2 Zusammenfassung Merkmale der Aggregatzustände

Am Ende der Unterrichtseinheit zu den Merkmalen der Aggregatzustände, im Sinne der Formveränderung, sollen die Lernenden eine Zusammenfassung zu den Charakteristika Volumen und Kompression erarbeitet haben.

*„Feste Stoffe zeichnen sich durch eine stabile äußere Form und ein definiertes Volumen aus. Flüssigkeiten besitzen ebenfalls ein definiertes Volumen, aber keine stabile Form. Gase besitzen weder ein definiertes Volumen noch eine Form; sie füllen den zur Verfügung gestellten Raum ganz aus.“ [78, S. 25]*

Für eine bessere Übersichtlichkeit wurde eine Tabelle entworfen:

	fester Aggregatzustand	flüssiger Aggregatzustand	gasförmiger Aggregatzustand
<b>Form</b>	Feste Stoffe passen sich nicht von allein an die Form des Gefäßes an. (stabile äußere Form)	Flüssigkeiten passen sich der Form des Gefäßes an. (keine stabile Form)	Gase passen sich der Form des Gefäßes an.  Sie nehmen den ganzen ihnen zur Verfügung stehenden Raum ein.  (keine stabile Form)

<b>Kompressibilität / Volumen</b>	Feste Stoffe lassen sich nicht komprimieren. Feststoffe besitzen ein definiertes Volumen.	Flüssige Stoffe lassen sich nicht komprimieren. Flüssigkeiten besitzen ein definiertes Volumen.	Gase lassen sich komprimieren. Das Volumen verändert sich. Gase besitzen kein definiertes Volumen.
-----------------------------------	--	--	--

Tabelle 10: Merkmale der Aggregatzustände

Damit die ermittelten Charakteristika von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen angewendet werden, können die Lernenden weitere Alltagsstoffe den Aggregatzuständen zuordnen.

### 3.3 Aggregatzustandsänderungen und Energie

Das am häufigsten verwendete Beispiel in Bezug auf die Änderung der Aggregatzustände ist Wasser. Neben dem unreflektierten Erfahrungswissen, das Grundschüler:innen in die Primarstufe bringen, erwerben sie spätestens in der Jahrgangsstufe drei oder vier, aufgrund der verbindlich zu vermittelnden Inhalte des Rahmenplans, Kompetenzen zu den Aggregatzuständen des Wassers. Es ist Thema in unterschiedlichen Settings, wie „Wetterbeobachtung“, „Wohnen und Wohnumgebung“, „Naturphänomene erforschen und entdecken“, „Lebensräumen Wasser und Wald“ sowie dem „Lebenszyklus von Pflanzen“ [79, S. 18]. Ebenfalls erlangen und erweitern Schüler:innen ihr Fachwissen zu Wasser innerhalb der Orientierungsstufe in Bezug auf die Stoffeigenschaften, den Wasserkreislauf, den Lebensraum im und am Wasser sowie zur Nachhaltigkeit [80, S. 16]. In dem weiteren curricularen Verlauf des Chemieanfangsunterrichts wird dieses immanente Wissen nun abgerufen, auf verschiedene Phänomene angewandt und es werden neue Erkenntnisse mithilfe der Durchführung diverser Versuche gewonnen.

#### Versuch 7: Erhitzen von Eiswürfeln

*Schülerexperiment nach C. Collin [66, S. 126]*

**Geräte:** 400-mL-Becherglas, Heizplatte, großes Uhrglas, Tiegelzange

**Chemikalien:** Eiswürfel

**Durchführung:** In das Becherglas werden einige Eiswürfel gegeben und mit der Heizplatte erwärmt. Sobald das Wasser siedet, wird das große Uhrglas über den Dampf gehalten.

**Beobachtung:** Das Eis in dem Becherglas wird durch Erhitzen zunächst flüssig und schließlich gasförmig. An der Unterseite des großen Uhrglases bilden sich Tropfen einer farblosen Flüssigkeit.

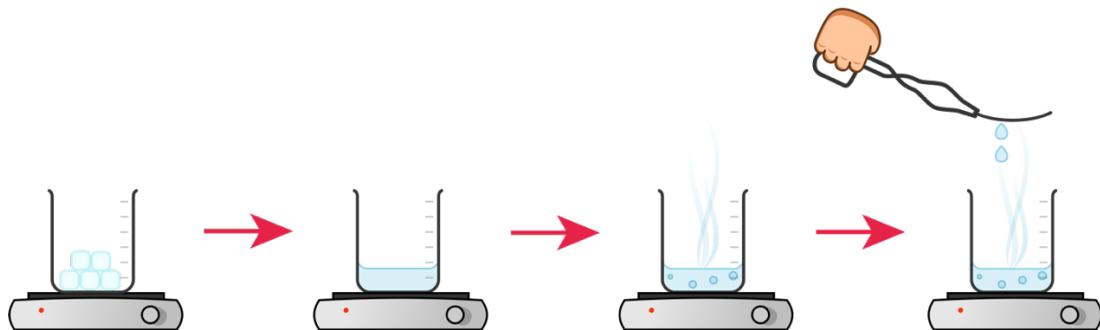


Abbildung 16: Ikonische Darstellung zur Beobachtung des Versuchs „Erhitzen von Eiswürfeln“

**Wesentlicher Lerninhalt:** Bei diesem Experiment wird die Aggregatzustandsänderung durch Temperaturerhöhung vom festen über den flüssigen zum gasförmigen Zustand sichtbar. Zunächst lässt sich feststellen, dass die in das Becherglas gegebenen Eiswürfel ihre Form beibehalten und diese sich nicht ändert. Infolge der Temperaturerhöhung ist beobachtbar, dass das Eis schmilzt, in den flüssigen Aggregatzustand übergeht und sich der Form des Becherglasses anpasst. Außerdem ist die Phasengrenze deutlich zu erkennen. Das flüssige Wasser beginnt nach kurzer Zeit zu sieden, erkennbar durch die aufsteigenden Blasen. Das flüssige Wasser geht in den gasförmigen Aggregatzustand über und nimmt den ganzen ihm zur Verfügung stehenden Raum ein. Da das Becherglas nicht verschlossen ist, tritt es aus diesem heraus. Aufgrund des darüber gehaltenen Uhrglases ist der reversible Vorgang des Kondensierens zu erkennen. Die Wassertropfen fallen in das Becherglas zurück.

Der Prozess des Erstarrens wird in **Versuch 10:** genauer thematisiert. An dieser Stelle der Unterrichtssequenz ist es zunächst ausreichend auf den Prozess hinzuweisen, indem auf das Erfahrungswissen der Schüler:innen zurückgegriffen wird. Außerdem kann das Wasser in eine Eiswürfelform gegossen werden, um es anschließend in das Gefrierfach eines Kühlschranks zu stellen, sodass das flüssige Wasser nach einigen Stunden erstarrt.

### Versuch 8: Bestimmung der Schmelz- und Siedetemperatur von Wasser

Schülerexperiment nach C. Collin [66, S. 126]

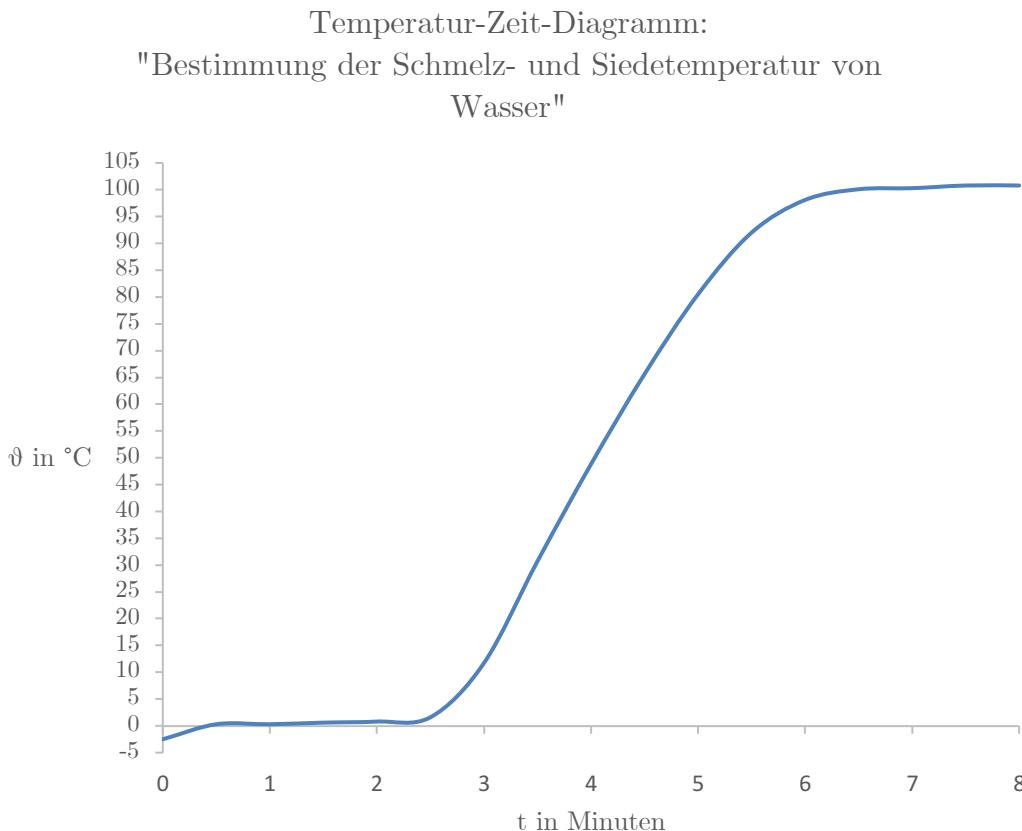
**Geräte:** 400-mL-Becherglas, Heizplatte, großes Uhrglas, Tiegelzange

**Chemikalien:** zerkleinertes Eis

**Durchführung:** Das Becherglas wird mit 30 g zerkleinertem Eis gefüllt, auf die Heizplatte gestellt und der Rührer auf langsamer Stufe eingeschaltet. Der Temperaturfühler wird in das Eis eingetaucht und die Messung gestartet. Dann schaltet man die Heizplatte auf höchster Stufe ein und erhitzt so lange, bis das Wasser siedet. Während des Erhitzens wird alle 30 Sekunden die Temperatur abgelesen und notiert. Man beendet den Versuch, wenn das Wasser siedet und die Temperaturwerte mindestens eine Minute lang nicht mehr ansteigen. Dann hebt man das Thermometer so weit an, dass es die Temperatur des Wasserdampfes oberhalb der Flüssigkeit misst. Die Messwerte werden in ein Temperatur-Zeit-Diagramm übertragen.

**Beobachtung:** Durch die ständig hinzugeführte thermische Energie beginnt das Eis zu Schmelzen und geht in den flüssigen Aggregatzustand über. Das flüssige Wasser passt sich der Gefäßform an und beginnt nach einigen Minuten zu sieden. Visuell ist dieser Zustand durch aufsteigende Blasen zu erkennen. Der Wasserdampf steigt nach oben und kondensiert teilweise am Rand des Glasgefäßes oder steigt in die Atmosphäre empor. Er nimmt den ganzen ihm zur Verfügung stehenden Raum ein.

Die aufgenommenen Wertepaare (Zeit und Temperatur) sind in einem Diagramm in der Abbildung 17 aufgetragen.



**Abbildung 17:** Temperaturkurve Erhitzen von Wasser in unterschiedlichen Aggregatzuständen

### Wesentlicher Lerninhalt:

In der Abbildung 17 ist eindeutig zu erkennen, dass nach einer halben Minute kein Anstieg der Temperatur zu verzeichnen ist. Stattdessen stagniert sie bei 0 °C, trotz kontinuierlicher Wärmezufuhr. Der Schmelzpunkt von Wasser wurde erreicht, da sich die Temperatur des Feststoffes nicht weiter erhöht.

Nach ca. zwei Minuten steigt die Temperatur des Wassers bei fortlaufender Wärmezufuhr über einen Zeitraum von ca. vier Minuten bis auf 95 °C an und zeigt dann einen Übergang zu einem Sattelpunkt bis sie bei 100 °C stagniert. An dieser Stelle der Temperaturkurve ist der Siedepunkt von Wasser erreicht worden, da sich die Temperatur des flüssigen Wassers nicht erhöht.

Beim Erwärmen von Wasser, ausgehend von seinem festen bis zu seinem gasförmigen Aggregatzustand, wird deutlich, dass es Phasen gibt, in denen die Temperatur (fast) linear ansteigt und andere, in denen die Temperatur über einen längeren Zeitraum konstant bleibt. Die konstanten Phasen entstehen, wenn es zu einer Aggregatzustandsänderung kommt, hier also beim Schmelzen und beim Sieden.

**Anmerkung:** Die Werte können bedingt durch die Qualität des Temperaturfühlers sowie abhängig vom äußeren Luftdruck vom theoretischen Wert abweichen.

Mit den bisherigen Erkenntnissen sind die Schüler:innen in der Lage phänomenologisch das Experiment zu erklären. Allerdings fehlen ihnen die Kompetenzen das Temperatur-Zeit-Diagramm auf der symbolischen Ebene zu interpretieren. Dazu benötigen sie ausreichende Kenntnisse zur Energie.

### 3.4 Energie

Energie spielt in allen Bereichen des Lebens, und somit auch in den Bereichen der Naturwissenschaften, für etwaige Prozesse eine bedeutende Rolle. Den Schüler:innen ist bis zu diesem Zeitpunkt, neben der Alltagserfahrung, durch die schulische Kontextualisierung der Begriff *Energie* bekannt. In der Primarstufe erfolgte die Betrachtung in den Themengebieten „*Wohnen und Wohnumgebung*“ die Auseinandersetzung mit fossiler und „*erneuerbarer*“ Energie [79, S. 31]. Im Verlauf der Orientierungsstufe ist der Begriff Energie in den Unterrichtseinheiten „*Kreislauf des Wassers*“, „*Die Luft, die ich atme – Eigenschaften*“, „*Die Sonne unser Stern – Nachhaltigkeit*“ zu finden. Die Schüler:innen erfahren in diesen Stoffgebieten vor allem die Nutzung von verschiedenen Energiequellen, deren Umwandlung sowie die Vor- und Nachteile deren Einsatzes im Energiekreislauf [80, S. 17].

Was sollten die Schüler:innen grundsätzlich über Energie erfahren?

#### Energie

- kommt in vielen unterschiedlichen Formen vor, zum Beispiel als
  - Lageenergie (pot. Energie)
  - Bewegungsenergie (kin. Energie)
  - Spannungsenergie
  - thermische Energie
  - Strahlungsenergie
- kann weder erzeugt noch vernichtet werden.
- kann von einer Form in eine andere umgewandelt werden [73, S. 27].

Das Thema „*Energie*“ ist ein Knotenpunkt der Fächer Biologie, Chemie und Physik, sodass eine einheitliche Definition für die Schüler:innen notwendig ist. Eine einfache Definition des Energiebegriffs formulierte Wagner:

*„Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Sie kann weder erzeugt, noch vernichtet, sondern nur von einer Energieform in eine andere Energieform umgewandelt werden.“ [81, S. 57]*

Der Chemieunterricht grenzt sich insoweit von den Fächern Biologie und Physik ab, dass dieser sich vor allem der Untersuchung von Stoffumwandlungen und der damit verbundenen Energieumwandlung (endo- und exotherme Reaktionen) widmet. Dabei muss die Energie in den Stoffen unter Berücksichtigung des fachlichen Ausdrucks beachtet werden. Wagners Ziel war es, für das Energie-Konzept einen Zugang zu schaffen, der zum einen fachwissenschaftlich dem aktuellen Forschungsstand entspricht und andererseits einen Zugang für die Schüler:innen darstellt. Es kommen dafür die Begriffe **chemische Energie**, **Innere Energie** und **Enthalpie** infrage [81, S. 56].

Die Begriffe **chemische Energie**<sup>11</sup> und **Innere Energie** sind nach Wagners Argumentation ungeeignet. Ersterer eignet sich nur für die Thematisierung in der Hochschulausbildung, nicht aber für den Chemieanfangsunterricht. Er erscheint zu ungenau und wird nicht exakt definiert. Die Innere Energie ist zwar ein denkbarer Begriff für die Energie in den Stoffen, beschreibt jedoch nur isochore und nicht isobare Prozesse. Letztere sind in der Erfahrungswelt der Schüler:innen jedoch allgegenwärtiger [81, S. 56].

Es bleibt die Implementierung des fachlich korrekten Begriffs **Enthalpie** in der Schule vom Anfangsunterricht bis in den Leistungskurs der Sekundarstufe II und darüber hinaus [81, S. 56]. Um diesen für die Schüler:innen des Chemieanfangsunterrichts verständliche und didaktisch reduziert einzuführen, kann die folgende Definition der Energie in den Stoffen verwendet werden:

Die Energie, die in den Stoffen enthalten ist und in andere Energieformen umgewandelt werden kann, nennt man **Enthalpie**. [81, S. 56]

Rückblickend auf den bisherigen Unterrichtsverlauf sind den Schüler:innen die einzelnen Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig bekannt. Außerdem wurden in den vergangenen Unterrichtsstunden die Prozesse der Phasenumwandlungen von Wasser behandelt. Nur durch die Zufuhr von

<sup>11</sup> Der Begriff **chemische Energie** geht auf die Definition von W. Ostwald 1903 zurück [82].

Energie in Form von Wärme (thermische Energie), kann unter anderem Eis (festes Wasser) vom Aggregatzustand „fest“ über „flüssig“ zu „gasförmig“ überführt werden. Um diesen Aspekt grafisch festzuhalten, ist die Erstellung von Enthalpie-Diagrammen möglich, wozu sich die Anwendung des nachfolgenden Modells eignet.

### 3.4.1 Der Energiewürfel

Der Aspekt Energie ist für Schüler:innen sehr abstrakt und kann ohne Hilfsmittel nur anhand von Diagrammen nachvollzogen werden. Um auf der gegenständlichen Ebene Energie „anfassbar“ zu machen, erfolgt die Einführung und Anwendung des Energiewürfels. In der Abbildung 18 sind fünf Energiewürfel dreidimensional abgebildet. Es ist zu erkennen, dass jede Würfelseite einer oder mehrerer Energieformen entspricht.



Abbildung 18: Fünf Energiewürfel in 3D

Mithilfe der Energiewürfel soll nun von den Schüler:innen (und noch unter Anleitung der Lehrperson) das Energieszenario zu Versuch 7: unter Anwendung folgender Regeln durchgeführt werden:

**Energietransport:** Wenn Energie **transportiert** wird, **schiebt** man den Würfel an einen anderen Ort.

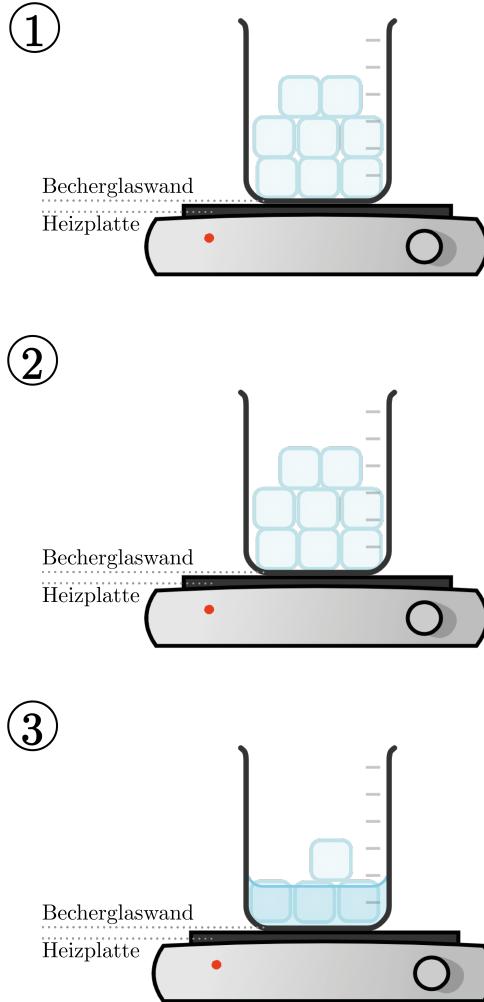
**Energieumwandlung:** Wenn eine Energieform in eine andere **umgewandelt** wird, **dreht** man den Würfel, sodass auf der oberen Seite die richtige Energieform steht.

**Energiemengen:** Je mehr **Energie** ein Stoff hat, desto mehr **Energiewürfel** sind vorhanden. [83, S. 84]

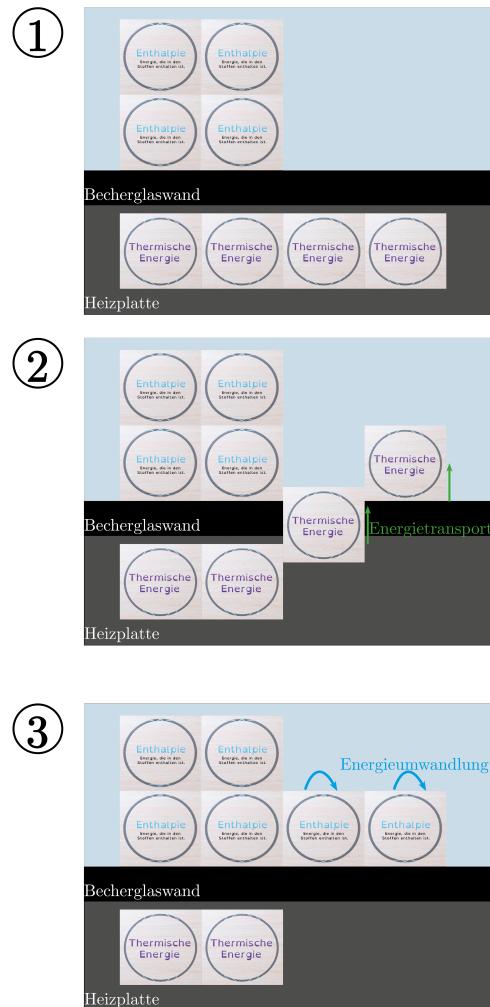
Regel drei erfordert ein Addendum. Bei den Energiemengen kann in diesem Stadium des Chemieunterrichts nicht erwartet werden, dass Schüler:innen quantitative Aussagen zu den Energiemengen leisten. Stattdessen werden Energiemengen vorgegeben, um zunächst auf dieser abstrakten Ebene ein Verständnis zur Energieumwandlung (z.B. von thermischer Energie zu Enthalpie) aufzubauen.

Um dieses Modell zu implementieren, bietet sich der Versuch 7: an. Hierbei wird der Komponente Wasser im Ausgangszustand fest (Eis) kontinuierlich thermische Energie durch die Heizplatte hinzugefügt. Aufgrund dieses Umstandes findet die Phasenumwandlungen von fest zu flüssig und anschließend von flüssig zu gasförmig statt. Nutzen die Schüler:innen den Energiewürfel, so wird zunächst die Enthalpie des Eises durch eine fiktive Anzahl an Würfeln festgehalten. Halten die Schüler:innen über die Heizplatte eine Hand, so können sie feststellen, dass diese Wärme (thermische Energie) überträgt. Im Modell wird die thermische Energie von der Heizplatte zum Becherglas und zu dem sich darin befindenden Eis transportiert. Symbolisch ist dies in Abbildung 19 so festgehalten, dass die Würfel von der Heizplatte zum Wasser verschoben werden. Dort erfolgt im nächsten Schritt die Energieumwandlung von thermischer Energie zu Enthalpie, indem der Würfel umgedreht wird. Das System des Wassers weist nun eine höhere Enthalpie auf.

### Ikonische Abstraktion des Versuchablaufes



### Energetische Deutung mittels Modell



eingesetzte Energiewürfel



Abbildung 19: Anwendung des Energiewürfels am Beispiel Erhitzen von Wasser

#### 3.4.2 Enthalpie-Diagramme

Das Erhitzen von Wasser findet während des Versuchs kontinuierlich statt und die Enthalpie des Wassers erhöht sich. Der erstellte Graf zur Schmelz- und Siedetemperatur des Wassers kann erneut aufgegriffen und mit den Energiewürfeln verknüpft werden. Dazu fügt man je Minute zwei Würfel

thermischer Energie hinzu, die dann zur Enthalpie des Wassers umgewandelt werden.

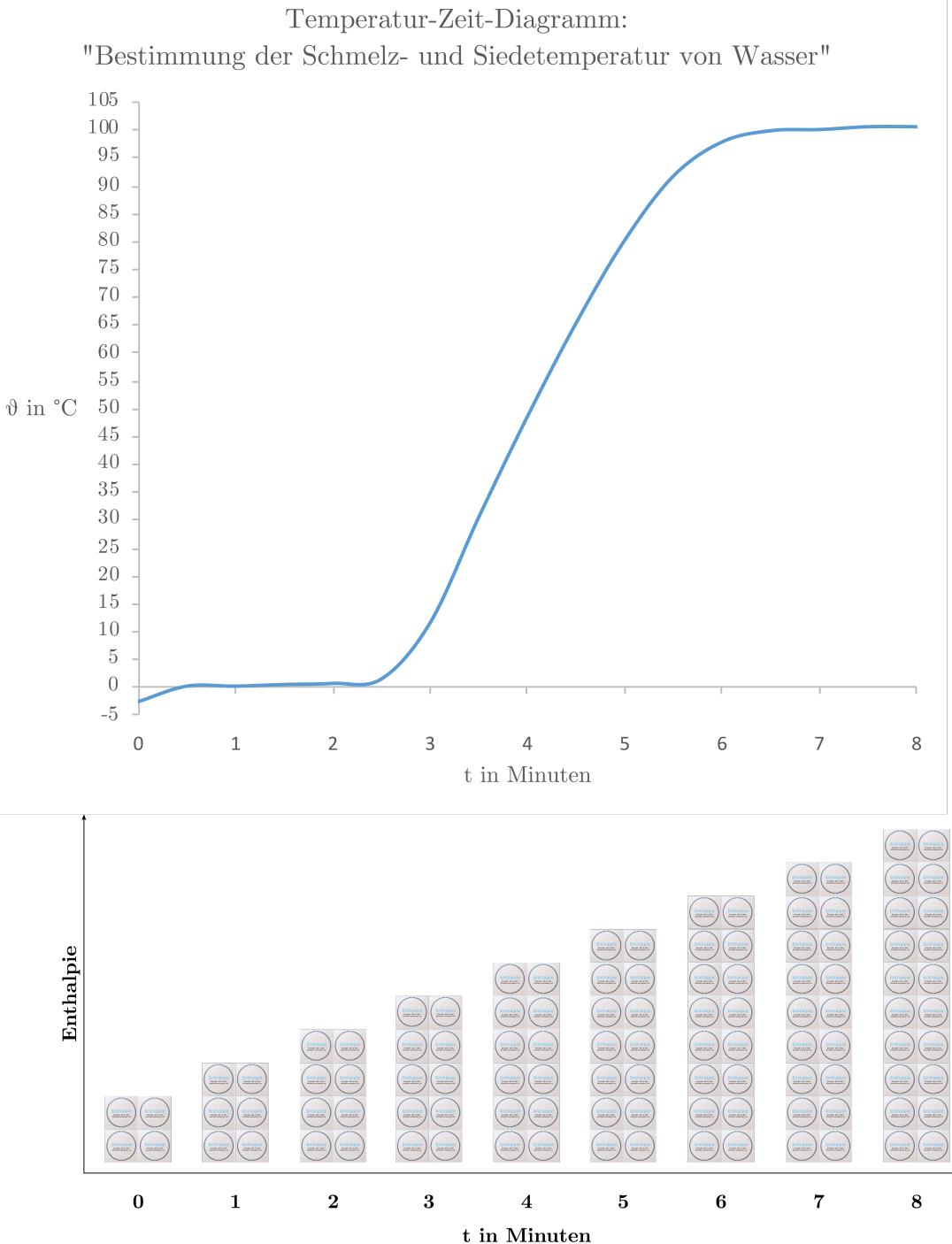


Abbildung 20: Temperatur-Zeit-Diagramm mit Verknüpfung zur Enthalpie

Aufbauend auf diese Grafik können die Schüler:innen mit ihrer Lehrkraft ein Enthalpie-Diagramme erstellen. Zu beachten ist dabei, dass die Würfel durch einfache Kästen dargestellt werden. Aufgrund dieser Vorgehensweise erstellen die Schüler:innen durch eine praktische Handlung die abstrakten Diagramme in Bezug auf die Enthalpie. Den Schüler:innen fällt zunächst auf, dass die

Temperatur von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  steigt und für ca.  $2\frac{1}{2}$  Minuten konstant auf diesem Temperaturwert bleibt, obwohl ständig thermische Energie hinzugefügt und in Enthalpie umgewandelt wird. Phänomenologisch nehmen die Experimentator:innen wahr, dass das Eis schmilzt. Allgemein gilt: Die benötigte Energie, um einen Stoff vom festen in den flüssigen Aggregatzustand zu überführen, wird **Schmelzenthalpie** genannt.

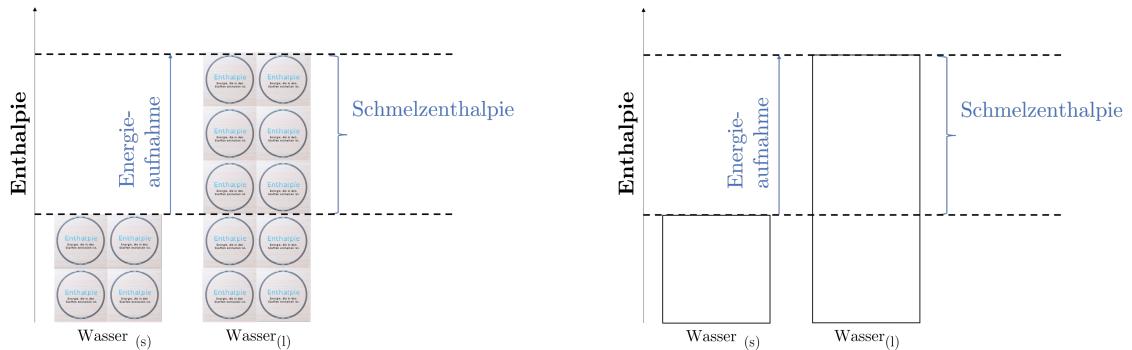


Abbildung 21: Enthalpie-Diagramm zur Schmelzenthalpie

Nachdem das Eis vollständig geschmolzen ist, steigt die Temperatur kontinuierlich bis auf einen Wert von  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  an und bleibt anschließend konstant auf diesem Wert. Die Schüler:innen beobachteten bei der Durchführung des Versuchs, dass das flüssige Wasser verdampft und gasförmig wird. Die Energiemenge, die benötigt wird, um einen flüssigen Stoff in den gasförmigen Aggregatzustand zu überführen, wird **Verdampfungsenthalpie** genannt.

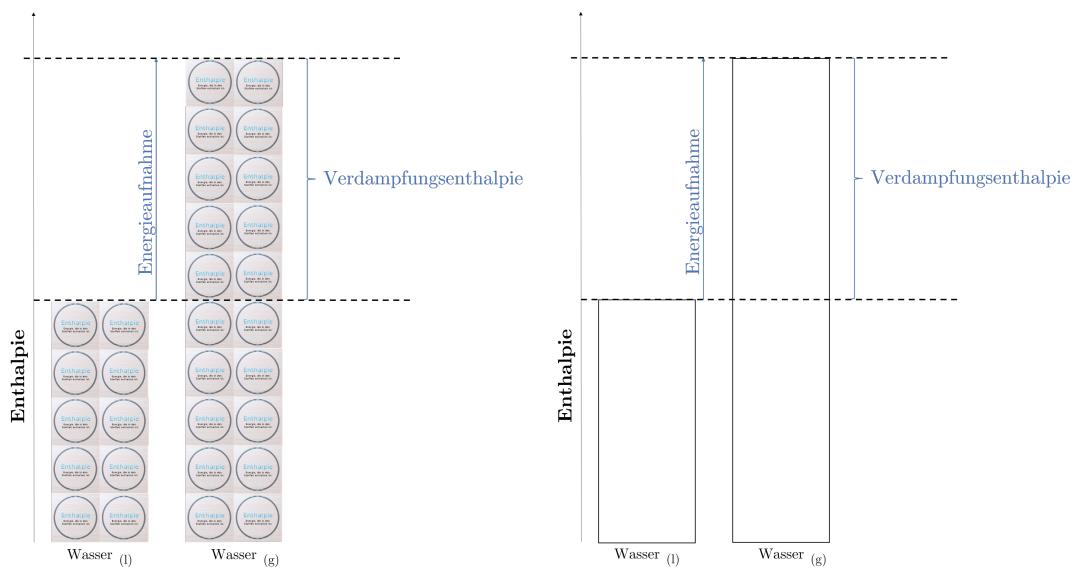


Abbildung 22: Enthalpie-Diagramm zur Verdampfungsenthalpie

Dieses Wissen soll zu unterschiedlichen Phasenumwandlungen erneut aufgegriffen und angewendet werden. Weiterhin ist es zu empfehlen, den

Umgang mit den Energiewürfeln in allen naturwissenschaftlichen Fächern einheitlich im Anfangsunterricht zu implementieren, sodass es immanent wird. Im Chemieunterricht erfolgt die Erweiterung des Umganges mit den Energiewürfeln, wenn die chemische Reaktion auf der Ebene der Energieumwandlung mit der Aktivierungsenergie behandelt wird.

Vergleicht man den Verlauf des Erhitzen von Eis bis zum Wasserdampf, kann eine konstante und eine steigende Phase der Temperatur beobachtet werden. Die Enthalpie steigt allerdings kontinuierlich. Ab der Temperatur von 100 °C verdampft das Wasser und kondensiert an dem darüber gehaltenen Uhrenglas oder an der Becherglaswand. Enthalpie wird in thermische Energie umgewandelt und an die Umgebung in Form von thermischer Energie abgegeben. Es stellt sich allerdings die Frage, ob Wasserdampf weiter erhitzt und eine noch höhere Enthalpie erreicht werden kann. Um dieser Frage nachzugehen, bietet sich die Durchführung folgenden Versuchs an.

### **Versuch 9: Entzünden eines Streichholzes mit Wasserdampf**

*Demonstrationsexperiment nach T. Wagner [81, S. 139]*

**Geräte:** 50-mL-Messzylinder, 200-mL-Zweihals-Rundkolben mit passenden Stopfen, gewinkeltes Glasrohr, Verbrennungsrohr, Schlauchstück, 2 (digitale) Thermometer (eins bis über 250 °C), 2 Stative, 3 Klemmen, 3 Muffen, 2 Brenner, Feuerzeug, Streichhölzer

**Chemikalien:** Leitungswasser, 2-3 Siedesteine

**Durchführung:** In einen Rundkolben werden 50 mL Wasser und drei Siedesteine gegeben. Anschließend wird der Rundkolben verschlossen, dazu setzt man den durchbohrten Stopfen mit gewinkeltem Glasrohr auf die Öffnung. Danach wird das Wasser im Rundkolben durch den entzündeten Brenner (rauschende Flamme) kontinuierlich erhitzt. Dabei ist auf die Temperatur des Wassers zu achten. Sobald diese 100 °C erreicht, wird der Temperaturfühler in dem Rundkolben leicht nach oben in die Gasphase gezogen. Der zweite Brenner wird entzündet, sodass das Verbrennungsrohr mit dem austretenden Wasserdampf erhitzt und der daraus austretende Wasserdampf auf seine Temperatur hin überprüft wird. Ist eine Temperatur von über 200 °C erreicht, kann zum Schluss versucht werden, ein Streichholz daran zu entzünden.

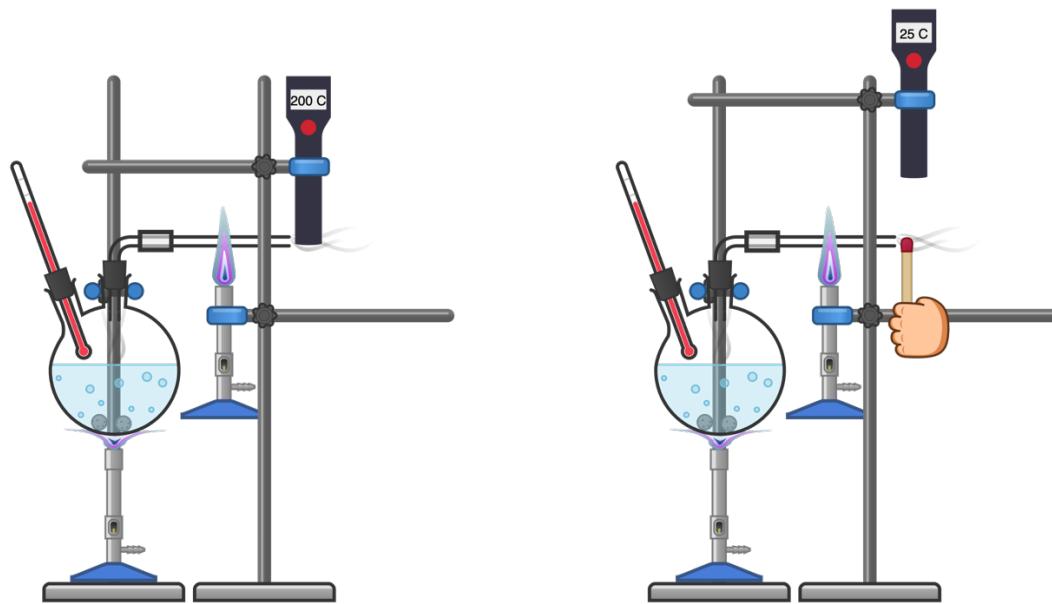


Abbildung 23: Versuchsaufbau Entzünden eines Streichholzes mit Wasserdampf

**Beobachtungen:** Bereits nach ungefähr einer Minute beginnt das Wasser zu sieden, die Temperatur sowohl in der Flüssig- als auch in der Gasphase bleibt konstant bei 100 °C. Der aus dem Verbrennungsrohr weiter erhitze, austretende Wasserdampf weist eine Temperatur von über 200 °C auf und das Streichholz entzündet sich.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Der Wasserdampf in dem Rundkolben hat dieselbe Temperatur, wie das siedende Wasser. Aufgrund des Erhitzens des Wasserdampfes, ist es möglich, diesen auf eine Temperatur von über 200 °C zu bringen. Die Zündtemperatur von Streichhölzern liegt nach Rossow bei ca. 160 °C [84], nach Kappenberg bei 207 °C [85]. Dies ist je nach Hersteller und Zusammensetzung verschieden, kann aber als Richtwert genutzt werden.

Als Zusammenfassung für die Schüler:innen kann eine Grafik wie in Abbildung 26 dienen. Der Teilprozess der Aggregatzustandsänderungen in Bezug auf das Erhitzen von Wasser ist mit dieser Versuchsreihe abgeschlossen. Nun werden die umkehrenden Prozesse betrachtet. Die Kondensation wurde bereits in Versuch 7: thematisiert, sodass im folgenden Versuch der Prozess des Erstarrens genauer betrachtet werden soll.

### Versuch 10: Erstarren von flüssigem Wasser

*Demonstrationsexperiment/ Schülerexperiment* nach W. Wagner [86] und M. Osteroth [87, S. 134]

**Geräte:** Reagenzglas (10 x 100 mm), 10-mL-Messzyylinder, Thermometer, farbloser 0,5l-Plastikbecher, Reagenzglasständer, Spatel, Stativ, 2 Doppelmuffen, 2 Klemmen, Hebebühne

**Chemikalien:** Wasser, crushed ice, Kochsalz

**Durchführung:** Das Reagenzglas wird in die untere Klemme eingespannt. Anschließend werden mithilfe des Messzylinders 5 mL Wasser in das Reagenzglas gegeben. Zum Schutz des Thermometers kann ein Gummischlauch aufgetrennt und auf das Thermometer gestülpt werden. Das Thermometer wird anschließend in die obere Klemme eingespannt. Das Thermometer muss nun nach unten bewegt werden, sodass es sich mittig im Reagenzglas befindet. Es darf die Reagenzglaswand nicht berühren. Dabei ist darauf zu achten, dass die Temperatur gut abgelesen werden kann. Anschließend werden in den Plastikbecher zerkleinertes Eis und Kochsalz im Verhältnis 3:1 gegeben und umgerührt. Diese Kältemischung wird auf die Hebebühne direkt unter das Reagenzglas gestellt und dann mit der Hebebühne so weit angehoben, dass der Wasserstand im Reagenzglas unterhalb dem der Kältemischung liegt. Die Temperatur wird alle 15 Sekunden abgelesen und notiert, bis keine Temperaturänderung festzustellen ist.

#### Versuchsaufbau:

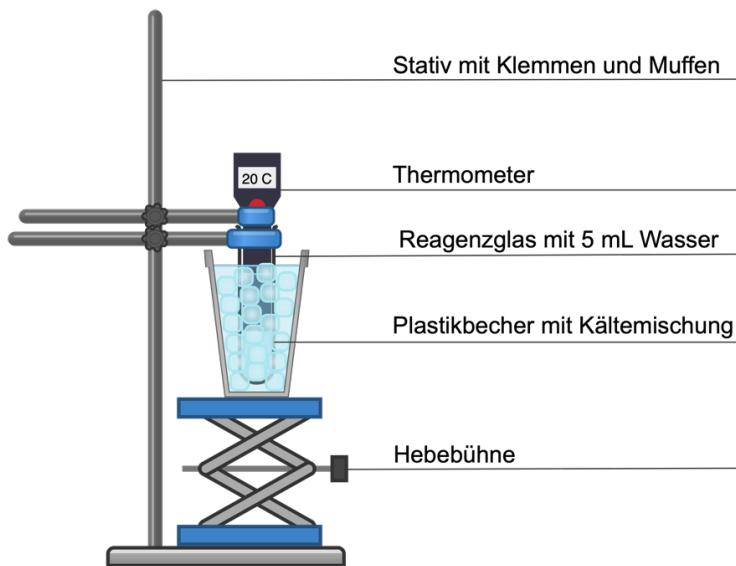


Abbildung 24: Erstarren von Wasser in einer Kältemischung

Abbildung 25 zeigt einen Graphen, mit dem entsprechenden Temperaturverlauf.

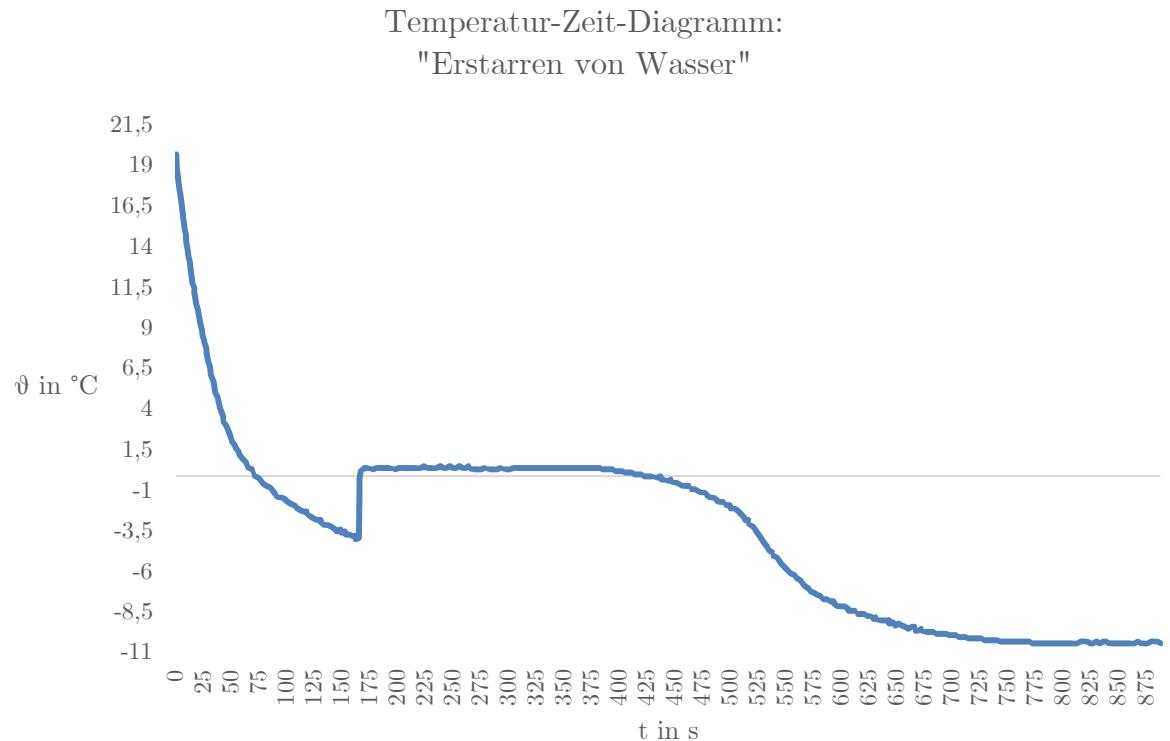


Abbildung 25: Temperatur-Zeit-Diagramm Erstarren von Wasser

Nach Osteroth und Wöhrmann kann das Reagenzglas weiter präpariert werden, indem das Reagenzglas mit konzentrierter Natronlauge und Salzsäure sowie einem Dampfstrahl behandelt wird, um eine noch niedrigere Temperatur (ca. -12 °C) des flüssigen Wassers zu erreichen. Nach Auffassung des Autors ist dieser Schritte nicht notwendig, da bereits bei -4 °C der gewünschte Effekt zu sehen ist [87, S. 134].

**Beobachtung:** Die Temperatur des Wassers sinkt von ca. 20 °C auf -4 °C. Danach ist ein sprunghafter Anstieg der Temperatur auf ca. 0 °C zu verzeichnen, währenddessen das Wasser von einem zum anderen Moment erstarrt. Anschließend bleibt die Temperatur für ca. vier Minuten auf diesem Temperaturniveau konstant, bis sie langsam auf ca. -11 °C sinkt.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Die Erstarrungsenthalpie<sup>12</sup> wird in Form von thermischer Energie (latente Wärme) an die Umgebung abgegeben. Es handelt sich dabei um einen Phasenübergang der ersten Ordnung. Gleichzeitig erkennen die Schüler:innen grafisch die Temperaturänderungen. Außerdem ist

<sup>12</sup> Wird in der Literatur auch als Kristallisationsenthalpie bezeichnet.

festzuhalten, dass die Enthalpie von festem Wasser (Eis) kleiner als die Enthalpie von flüssigem Wasser ist.

Nachdem die Phasenübergänge des Wassers experimentell untersucht wurden, kann eine Zusammenfassung erstellt werden, wie in Abbildung 26.

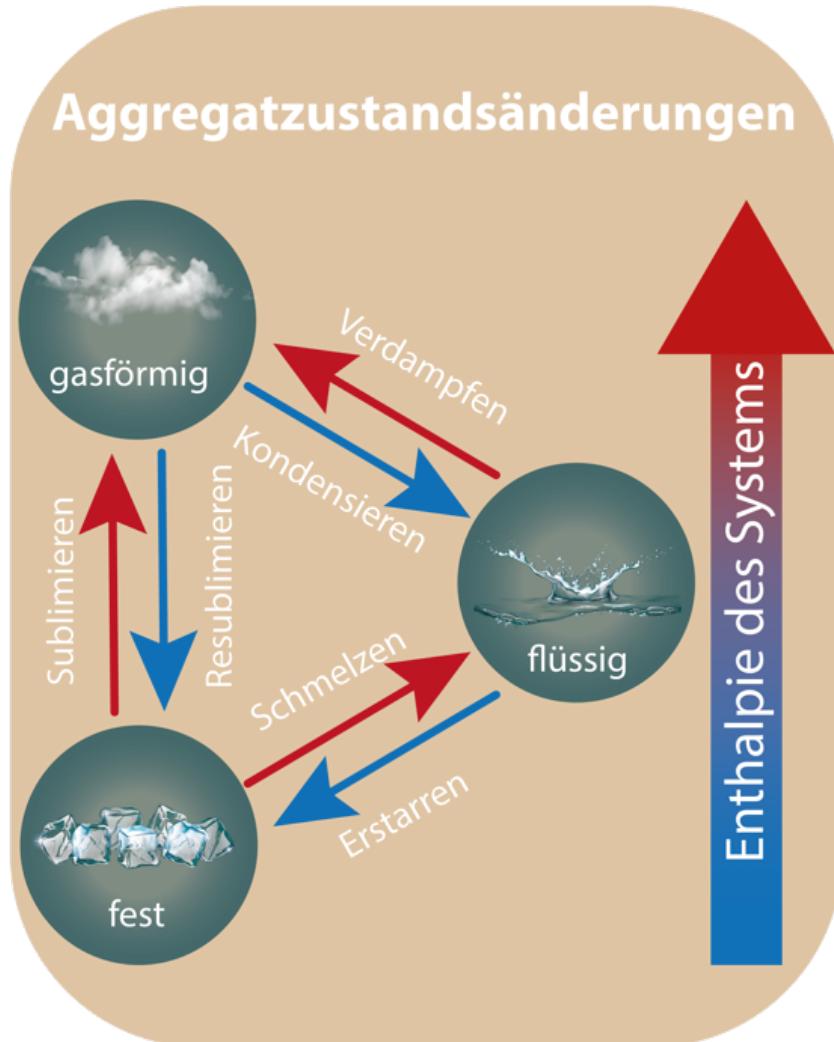


Abbildung 26: Aggregatzustandsänderung am Beispiel von Wasser mit Enthalpie

Im bisherigen Unterrichtsverlauf untersuchten die Schüler:innen die Merkmale der Aggregatzustände und inwieweit Stoffe ihr Volumen verändern, wenn auf sie ein Druck ausgeübt wird, sowie die Aggregatzustandsänderungen von Wasser. Darauf aufbauend kann nun untersucht werden, welchen Einfluss der Druck auf eine Aggregatzustandsänderung, z.B. von Wasser, hat.

#### Versuch 11: Druckabhängigkeit des Siedepunktes am Beispiel von Wasser

*Schülerexperiment nach C. Collin [73, S. 25]*

**Geräte:** 200-mL-Becherglas, 100-mL-Spritze/10-mL-Spritze, Kombistopfen, Thermometer ( $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), Wasserkocher

### Chemikalien: Wasser

**Durchführung:** Das in den Wasserkocher eingefüllte Leitungswasser wird zum Sieden gebracht. Danach werden ca. 100 mL des siedenden Wassers in das Becherglas gegossen und die Temperatur gemessen. Anschließend werden mit der 100-mL-Spritze 20/3 mL heißes Wasser aufgezogen und die Spritze mit dem Kombistopfen verschlossen. Zum Schluss wird der Spritzenstempel bis zur 100/10-mL-Markierung aufgezogen und wieder losgelassen. Dieser Vorgang wird mehrfach bei der allmählich sinkenden Temperatur des Wassers wiederholt, bis dieses nicht mehr zum Sieden gebracht werden kann. Als Anhaltspunkt für die Temperatur des Wassers in der Spritze dient die des Wassers im Becherglas.

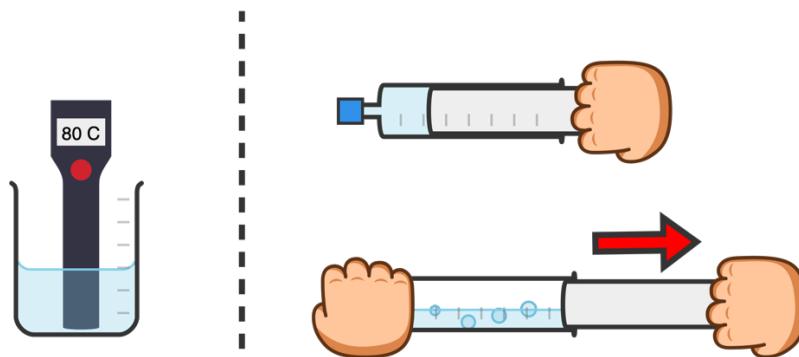


Abbildung 27: Versuchsaufbau Druckabhängigkeit des Siedepunktes am Beispiel von Wasser

**Beobachtung:** Die Siedetemperatur des Wassers, das aus dem Wasserkocher in das Becherglas gegossen wurde, beträgt 100 °C. Das sich in der Spritze befindende Wasser weist ungefähr die Temperatur des Wassers im Becherglas auf. Durch das Herausziehen des Spritzenstempels, bis zur maximalen Markierung, beginnt dieses zu sieden. Dieser Vorgang lässt sich so lange wiederholen, bis das Wasser nicht mehr zum Sieden gebracht werden kann.

Während der Durchführung des beschriebenen Versuchs kann eindrücklich die Phasenumwandlung von flüssig zu gasförmig beobachtet werden.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Die Schüler:innen erkennen, dass durch Dekomprimieren eine Phasenumwandlung initiiert werden kann. Durch die Dekomprimierung wird der Druck innerhalb der Spritze herabgesenkt, wodurch das Wasser in einer 100/10-mL-Spritze auch unterhalb von 100 °C zu Sieden beginnt.

In der Alltagswelt wird die Komprimierbarkeit von Gasen ausgenutzt, um von einem Produkt mehr Volumen in einen Behälter zu füllen. Beispiele dafür sind Sauerstoff-, Stickstoff-, Wasserstoff aus der Industrie, Kohlenstoffdioxidflasche

für den „*Sodastream*“ oder für die Aquaristik, Heliumflasche für Luftballons, Deodorant mit Treibgasen, Campinggasflasche mit Propan oder Feuerzeuggas (Propan/Butan-Gemisch) usw. Dieser Anhaltspunkt kann von den Schüler:innen weiter untersucht werden, besonders unter dem Anhaltspunkt des Begriffes „*Flüssiggas*“, der für die Schüler:innen einen widersprüchlichen Inhalt vermittelt.

Um sich mit diesem Widerspruch auseinanderzusetzen, können die Lernenden folgendes Experiment durchführen.

### Versuch 12: Komprimieren von Feuerzeuggas in einer Spritze

*Schülerexperiment nach Becker und Obendrauf [77, S. 91]*

**Geräte:** 10-mL-Spritze, 1 Kombistopfen, Heidelberger-Verlängerung, Adapter der Nachfülldose

**Chemikalien:** Nachfülldose mit Feuerzeuggas (Butan) (GHS02 , GHS04  )

**Durchführung:** In die Spritze werden 10 mL Feuerzeuggas mittels der Heidelberger-Verlängerung und des Adapters gefüllt. Anschließend verschließt man die Spritze mit dem Kombistopfen. Nun wird mittels einer Hand Druck auf den Spritzenstempel ausgeübt und so der Spritzeninhalt auf 1 mL komprimiert. Danach wird der Stempel wieder losgelassen.

**Beobachtung:** Der Stempel der Spritze lässt sich in den Spritzenkörper hineindrücken. Dabei bildet sich ein farbloser Flüssigkeitsfilm an der Innenwand der Spritze. Lässt man den Stempel wieder los, verschwindet der Flüssigkeitsfilm und das Volumen steigt wieder auf 10 mL.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Aufgrund des erhöhten Kompressionsdrucks verflüssigt sich das Feuerzeuggas. Dieser Vorgang ist reversibel.

Mittels der Durchführung mehrerer Experimente zu den Aggregatzuständen, deren Phasenumwandlung und dem dazugehörigen Aspekt der Energie, sollten die Schüler:innen mehrere Erkenntnisse über diese spezifischen Naturphänomene erlangt haben. Dennoch lassen sich diese nur ansatzweise auf der phänomenologischen Ebene erklären, sodass es unabdingbar ist, einen theoretischen Überbau einzusetzen. Die nach dem durchgeführten **Versuch 12:** aufzuwerfenden Fragen lauten:

*Aus welchem Grund lassen sich Gase komprimieren, Flüssigkeiten und Feststoffe allerdings nicht? Aus welchem Grund lässt sich Feuerzeuggas beim Komprimieren verflüssigen?*

### 3.5 Das undifferenzierte Teilchenmodell im Chemieanfangsunterricht

Schüler:innen, die den Chemieanfangsunterricht besuchen, bringen bereits durch verschiedene Medienzugänge wie Zeitschriften, Zeitungen, Fernsehendung wie z.B. „Galileo“, Internetseiten oder „YouTube-Channels“ [88] [89] mit wissenschaftlichem Charakter unterschiedliche Alltags- und Schulerfahrungen mit, wenn es um die Kenntnis, Zusammenhänge und teilweise um die Anwendung über kleinste Teilchen, Atome, Moleküle und Ionen geht. Wann jedoch der ideale Zeitpunkt ist, das undifferenzierte Teilchenmodell einzuführen, ist in der Didaktik stark umstritten. So schlagen Menthe und Hoffmann [90, S. 134] u.a. im Zuge der Inklusionsdiskussion vor, den Chemieunterricht weniger abstrakt zu gestalten, phänomenologisch auszurichten und die Formelschreibweise und Teilchenbetrachtung erst zu einem späteren Zeitpunkt zu thematisieren. Zu welchem Zeitpunkt die Teilchenvorstellung eingeführt werden soll, konkretisieren sie allerdings nicht. Untersuchungen von Benedict und Bolte [91, S. 273] zeigen, dass bereits eine Vielzahl von Schüler:innen der dritten und vierten Klasse schulisch und außerschulisch mit dem Teilchenkonzept konfrontiert werden. Die Autoren fordern, das Vorwissen stärker bei der Gestaltung des Unterrichts zu berücksichtigen, ohne die Schüler:innen zu überfordern, da sie sich nach Piagets Stufenmodell in der konkret-operationalen Phase befinden. Barke et al. argumentieren ebenfalls, dass ein einfaches Teilchenmodell zur Deutung von Aggregatzustandsänderungen, Lösevorgängen, Diffusion etc., je nach Schülergruppe, am Anfang des Unterrichts sinnvoll für das Verständnis ist [68, S. 105].

Im nachfolgenden Teil soll kurz die Einordnung des Modells in der Chemiedidaktik, die Merkmale des undifferenzierten Teilchenmodells und der Umgang in der Modellarbeit beschrieben werden.

Das undifferenzierte Teilchenmodell ist das erste Modell, das die submikroskopische Ebene für die Schüler:innen symbolisiert. Es handelt sich dabei um ein Curriculum-Modell<sup>13</sup> bei dem die Charakteristika nach Jong und Taber [92, S. 631] gelten, wie Bindernagel und Eilks [93, S. 182] in einer Zusammenfassung der Definition und Charakteristika von Modellen beschreiben. Angewendet auf das undifferenzierte Teilchenmodell, bedeutet dies:

---

<sup>13</sup> didaktisch reduziertes, wissenschaftliches Modell, gerichtet an eine bestimmte Zielgruppe

1. Das Curriculum-Modell entspricht dem Entwicklungsstand, dem Komplexitäts- und Abstraktionsgrades der Lernenden.
  - a. Die Lernenden deuten die Versuche auf Grundlage der Merkmale des undifferenzierten Teilchenmodells, welches zur Strukturierung des unreflektierten Erfahrungswissens im Anfangsunterricht eingeführt wurde.
2. Das Curriculum-Modell geht von einer vertrauten Basis aus, sodass die Lernvoraussetzung mit einer Lehrstrategie kombiniert wird und zum Lernerfolg führt.
  - a. Die Basis stellt das Erfahrungswissen der Lernenden dar, welches strukturiert und erweitert wird.
3. Das Curriculum-Modell muss erweiterbar sein.
  - a. Das Teilchenmodell stellt das erste Modell zur Interpretation von Versuchen mit der Teilchenvorstellung dar, sodass schrittweise die Einführung und Anwendung weiter entwickelter Modelle möglich ist (z.B. Dalton-Modell, Kugelwolkenmodell, VSEPR und weitere) [92, S. 631].

Eilks et.al. [94, S. 82] haben für die Merkmale des Teilchenmodells folgende Kernaussagen formuliert:

1. Alle Stoffe bestehen aus kleinen Teilchen.
2. Diese Teilchen haben eine Masse, aber man kann sie selbst durch das beste Mikroskop nicht direkt mit den Augen sehen.
3. Zwischen den kleinen Teilchen ist nichts.
4. Die kleinen Teilchen sind ständig in Bewegung. Mit steigender Temperatur nimmt diese Bewegung zu, mit fallender ab. Bei gleichbleibender Temperatur bleibt die Bewegung aller kleinen Teilchen zusammengenommen erhalten.
5. Zusammenstöße zwischen zwei kleinen Teilchen verlaufen so, dass beide zusammengenommen ihre Bewegungsenergie behalten.
6. Zwischen den kleinen Teilchen herrschen Anziehungs- und Abstoßungskräfte, die stark vom Abstand abhängig sind.

7. Gleiche Stoffe bestehen aus gleichen kleinen Teilchen. Die kleinen Teilchen verschiedener Stoffe unterscheiden sich in Form und Größe. [94, S. 82]

Gleichzeitig betont Eilks, dass eine Aussage über die Gestalt und Aussehen der Teilchen nicht getätigt werden darf, da dazu die notwendigen Kenntnisse über den Aufbau der Teilchen fehlen, wie auch Buck (1982) bereits forderte. Hofman und Erbl [95, 217-126] kritisieren in diesem Zusammenhang die Aufstellung der Merkmale des Teilchenmodells nach Saborowski, da hier eine Kernaussage die Kugelgestalt der Teilchen ist [96, S. 211]. Dabei weisen sie in ihren 22 Punkten zu den Eigenschaften des Teilchenmodells in Punkt zwei darauf hin, dass die Angabe der Form nicht erforderlich ist, bei der Darstellung jedoch häufig die Kugelform gewählt wird. Im Rahmenplan von Bayern wird vorgegeben, dass Wasser in Form von Dreiecken symbolisiert wird. Die somit vereinfachte Form der Struktur soll die gewinkelte Form des Wassermoleküls im Denken der Schüler:innen manifestieren. Barke et. al. [68, S. 252] geben zu bedenken, dass die unterschiedlichen Darstellungen von Teilchen kritisch zu betrachten, jedoch die Auseinandersetzung mit Kreisen und Kugeln und anderen Formen der Darstellung entwicklungslogisch ist. Es ist insbesondere auf die Beachtung der Charakteristika des Curriculum-Modells hinzuweisen. Zudem lassen sich regelmäßige Polygone wie Vierecke, Dreiecke und Hexagone so anordnen, dass zwischen den Teilchen ein Kontinuum entsteht, welches durch die Anordnung von kugelähnlichen Strukturen oder regelmäßigen Polygonen mit mindestens fünf Seiten (Pentagon, Heptagon, Octagon, Dekagon, Dodekagon oder Ikosagon) ausgeschlossen ist, da bei diesen stets zwischen ihnen ein Diskontinuum entsteht. Eine weitere Möglichkeit ist die Darstellung von Stäbchen mit abgerundeten Ecken. Aus den vorstehend genannten Gründen hat sich der Autor dazu entschieden, für die Darstellung der kleinen Teilchen die Kugelform zu wählen.

Im Folgenden soll ein Unterrichtsvorschlag vorgestellt werden, der für die alltägliche Praxis für den Chemieunterricht zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells geeignet ist und den folgenden Schüler:innenvorstellungen begegnet, indem sich das undifferenzierte Teilchenmodell bewährt.

Vorstellungen der Schüler:innen	
<b>Stoffe werden als Kontinuum wahrgenommen</b>	<p>Der diskontinuierliche Aufbau der Stoffe wird von den Schüler:innen eher für Gase, als für Flüssigkeiten und Feststoffe akzeptiert. Das zwischen den Teilchen nichts ist konkurriert mit der makroskopischen Ebene und der Kontinuumsvorstellung.[97, S. 7].</p> <p>Die Schüler:innen akzeptieren die Vorstellung, dass zwischen den Teilchen sich entweder Luft oder ein verdünnter Stoff befindet[96, S. 140].</p> <p>Flüssigkeiten und Feststoffe erfahren in ihrer symbolhaften Darstellung oft eine Vermischung mit der makroskopischen Ebene [98, S. 118].</p> <p>Schüler:innen akzeptieren in ihrer symbolhaften Darstellung zum Bau der Stoffe nicht die Lücken zwischen den Teilchen. Das Verständnis dazu steigt, wenn die Darstellung der Teilchen mit kugelähnlichen Strukturen erfolgt [98, S. 120].</p>
<b>Teilchen entstehen und verschwinden</b>	<p>Schüler:innen gehen mit der Vorstellung einher, dass Teilchen bei Prozessen, wie das Verdampfen, entstehen und aus dem Nichts erscheinen, ohne vorher existiert zu haben [97, S. 10].</p> <p>Teilchen können aus einem Kontinuum entstehen und wieder verschwinden. Dabei bilden sie ein Kontinuum [99, S. 72].</p>
<b>Teilchen Zerteilen von Stoffportionen</b>	<p>Die Begrifflichkeit Teilchen impliziert die Vorstellung, dass Stoffproben zerteilt werden, bis nur noch kleine Teilchen des Stoffes vorliegen und mit dem bloßen Auge nicht mehr erkennbar sind und mittels Vergrößerung sichtbar werden. Dabei bleiben die makroskopischen Eigenschaften erhalten. Dadurch wird den Schüler:innen nicht bewusst, dass auf der nicht sichtbaren Ebene (mikroskopischen Ebene) andere Gesetzmäßigkeiten herrschen [97, S. 10] [100, S. 140]. Draus resultieren Aussagen, wie:</p> <p>„Teilchen besitzen eine Farbe und dehnen sich bei Erwärmung aus.“ [100, S. 140]</p> <p>„Irgendwann verdampfen die Teilchen, bevor sie so groß werden, dass man sie sehen kann“ [100, S. 142]</p>
<b>Bewegung der Teilchen</b>	<p>Schüler:innen akzeptieren nicht, dass Teilchen in der Anordnung des festen Aggregatzustandes sich auf ihrem Platz bewegen. „Die Bewegung der Teilchen hört nach gewisser Zeit von selbst auf“ [100, S. 142]. Auch die</p>

Dauer der ständigen Bewegung der Teilchen des flüssigen und gasförmigen Aggregatzustandes gehen nicht mit ihren Vorstellungen einher [100, S. 142].

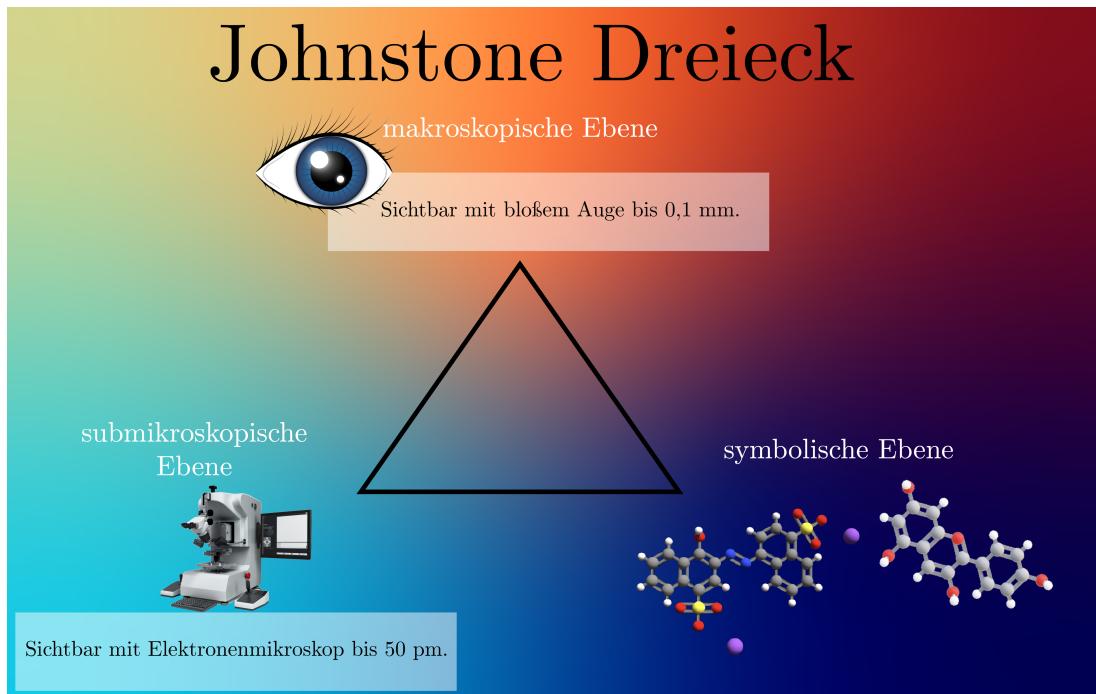
Tabelle 11: Vorstellungen von Schüler:innen zur submikroskopischen Ebene

Um den Vorstellungen der Schüler:innen zu begegnen, sollen nun mehrere Versuche von den Lernenden durchgeführt, beobachtet und anschließend mit der Teilchenvorstellung interpretieren werden. Dies entspricht einem zweischienigen Vorgehen im Sinne einer experimentellen Vorgehensweise und der anschließenden Deutung der submikroskopischen Ebene mittels des undifferenzierten Teilchenmodells [68, S. 254]. Dabei wird auf die verschiedenen Eigenschaften der Teilchen, wie Größe, Masse und Geschwindigkeit, sowie auf die allgemeingültigen Merkmale des undifferenzierten Teilchenmodells, eingegangen. Durch diese Verfahrensweise sollen die Schüler:innen sich die Eigenschaften des Teilchenmodells erarbeiten, bzw. bestätigen. Dabei sollen sie sich je einem oder mehreren Merkmalen des Teilchenmodells, durch die Deutung des Versuchs, widmen.

Zu Beginn der Unterrichtssequenz tragen zum einen die Schüler:innen ihr domänenspezifisches Wissen zusammen. Sind die Angaben der Kernaussagen zum undifferenzierten Teilchenmodell nach Eilks [93, S. 182] bisher nicht vollständig, wird zunächst nur festgehalten:

1. Alle **Stoffe** bestehen aus **kleinen Teilchen**.
2. **Zwischen** den kleinen Teilchen befindet sich **nichts**.
3. **Zwischen** den kleinen Teilchen herrschen **Anziehungs-** und **Abstoßungskräfte**, die stark vom **Abstand** und vom **Stoff** abhängig sind.
4. Alle Teilchen haben eine **Masse**, aber man kann sie selbst durch das beste **Mikroskop** nicht **direkt** mit den **Augen sehen**.

Um die Ebenen des Johnstone-Dreieck [68, S. 253] für die Schüler:innen verständlich zu machen, ist die Darstellung mithilfe eines digitalen Tools hilfreich, auf die die Schüler wiederkehrend zugreifen können.



**Abbildung 28:** Johnstone-Dreieck

Quelle: verändert nach [68, S. 253]

Dazu besteht für die Lehrperson die Möglichkeit diese, wie in Abbildung 28, darzustellen oder mit den Schüler:innen die Application „**Universe in a nutshell**“<sup>14</sup> oder „**The Scale of the Universe 2**“ zu nutzen, die interaktiv und animiert die Größenverhältnisse verschiedener Objekte anzeigt. Auf diese Art und Weise soll im Unterricht vermieden werden, Stoffeigenschaften auf die Teilchen zu übertragen und auf die Gesetzmäßigkeiten der mikroskopischen Ebene hinzuweisen. Des Weiteren muss bei der Interpretation von Phänomenen eine Vermischung der makroskopischen mit der mikroskopischen Ebene vermieden werden.

In der Erweiterung des bayrischen Lehrplanes wird der Begriff der „**Superlupe**“ [101, S. 1] verwendet, um auf die mikroskopische und letztlich auf die symbolische Ebene zu verweisen, die mit der mikroskopischen Ebene und somit vom Menschen wahrgenommen werden kann. Allerdings ist es bereits mittels Rasterelektronenmikroskop und der Verwendung von Computertechnologie möglich, die Elektronenhüllen von Atomen und Moleküle darzustellen [102], dennoch sind diese nicht mit dem bloßen Auge sichtbar. Der Begriff „**Superlupe**“ ist zu hinterfragen und kritisch zu betrachten, da er suggerieren kann, Atome und Moleküle mittels einer Lupe auf der

<sup>14</sup> Der Name der App ist angelehnt an das Werk „**Universe in a nutshell**“ von Stephen Hawkins (2001 Bantam Books).

makroskopischen Ebene sichtbar zu machen. Stattdessen erfolgt die Betrachtung der Phänomene auf der nicht sichtbaren Ebene und wird mit kugelähnlichen Symbolen, innerhalb eines vergrößerten Bereichs, mit einem Hilfsmittel, dass Teilchen abbilden kann, dargestellt.

Im weiteren Verlauf des Unterrichtsganges werden die Merkmale dieses Curriculum-Modells erweitert, indem nach dem forschend-entdeckenden Unterrichtsverfahren vorgegangen wird.

Nun ist es an den Lernenden, diese von ihnen zusammengetragenen und eventuell ergänzten Fakten und Zusammenhänge zu nutzen und auf die bisher unzufrieden interpretierten Versuche anzuwenden, wie die Komprimierung des Feuerzeuggases oder die Aggregatzustände des Wassers und dessen Phasenwechsel bei einer Erhöhung der Temperatur.

Letztendlich soll sich das Teilchenmodell mit den verbundenen Merkmalen zur Interpretation von Versuchsbeobachtungen bewähren. Nach der Systematisierung des unreflektierten Erfahrungswissens der Schüler:innen wird auf die in **Versuch 12:** aufgeworfenen Fragen eingegangen: *Aus welchem Grund lassen sich Gase komprimieren, Flüssigkeiten und Feststoffe allerdings nicht? Aus welchem Grund lässt sich Feuerzeuggas beim Komprimieren verflüssigen?*

Der Versuch soll von den Lernenden mit der Teilchenvorstellung durch eine Zeichnung interpretiert werden. In der nachfolgenden Abbildung handelt es sich um eine dreidimensionale Darstellung, die im Besonderen die Anordnung der Teilchen während der Komprimierung von Feuerzeuggas (Butan) zeigen soll.

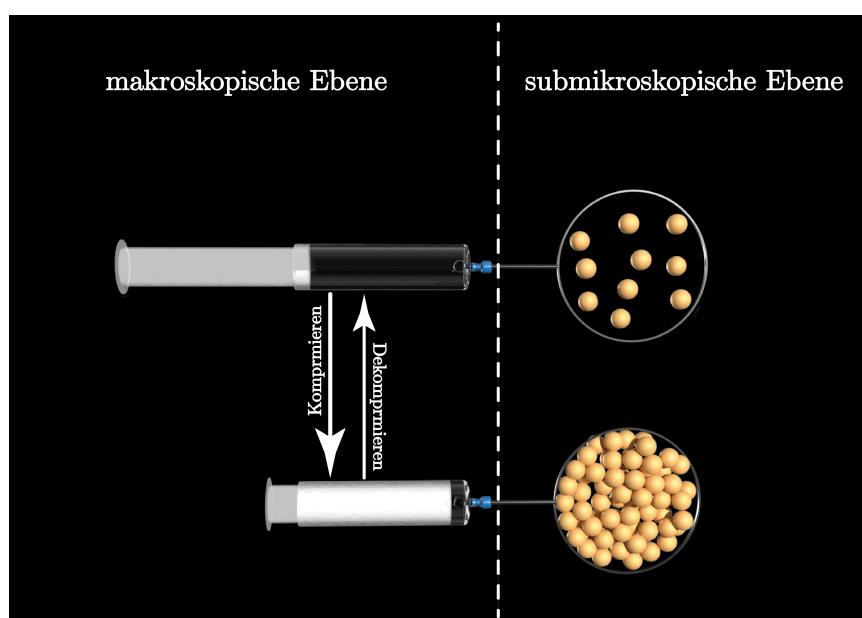


Abbildung 29: Deutung Komprimierung von Gasen

Die Butan-Teilchen bewegen sich in der oberen Spritze frei durch den ganzen, ihnen zur Verfügung stehenden Raum. Ebenso können die Lernenden Aussagen zu den Abständen der Teilchen in der Gasphase formulieren. Wird der Spritzenstempel nun kräftig gedrückt, verringert sich der zur Verfügung stehende Raum für die Teilchen. Die Abstände untereinander verkleinern sich und die Anziehungskräfte werden stärker, sodass makroskopisch eine Aggregatzustandsänderung von gasförmig zu flüssig stattfindet. Durch diese Vorstellung kann erklärt werden, warum sich Flüssigkeiten kaum und Feststoffe gar nicht komprimieren lassen. Bei Feststoffen befindet sich kaum ein leerer Raum mehr zwischen den Teilchen und bei Flüssigkeiten nur ein sehr geringer Anteil.

Des Weiteren kann, ausgehend von der Lehrkraft, durch die Anziehungskräfte der Teilchen untereinander erklärt werden, warum in **Versuch 7:** die Temperaturkurve zu Beginn zunächst während des Erhitzens konstant zwischen 0,3 °C und 0,6 °C, dann auf 100 °C ansteigt und anschließend weiter konstant bei dieser Temperatur bleibt. Eine mögliche Variante der Darstellung der Aggregatzustände von Wasser auf der makroskopischen und submikroskopischen Ebene ist die folgende:

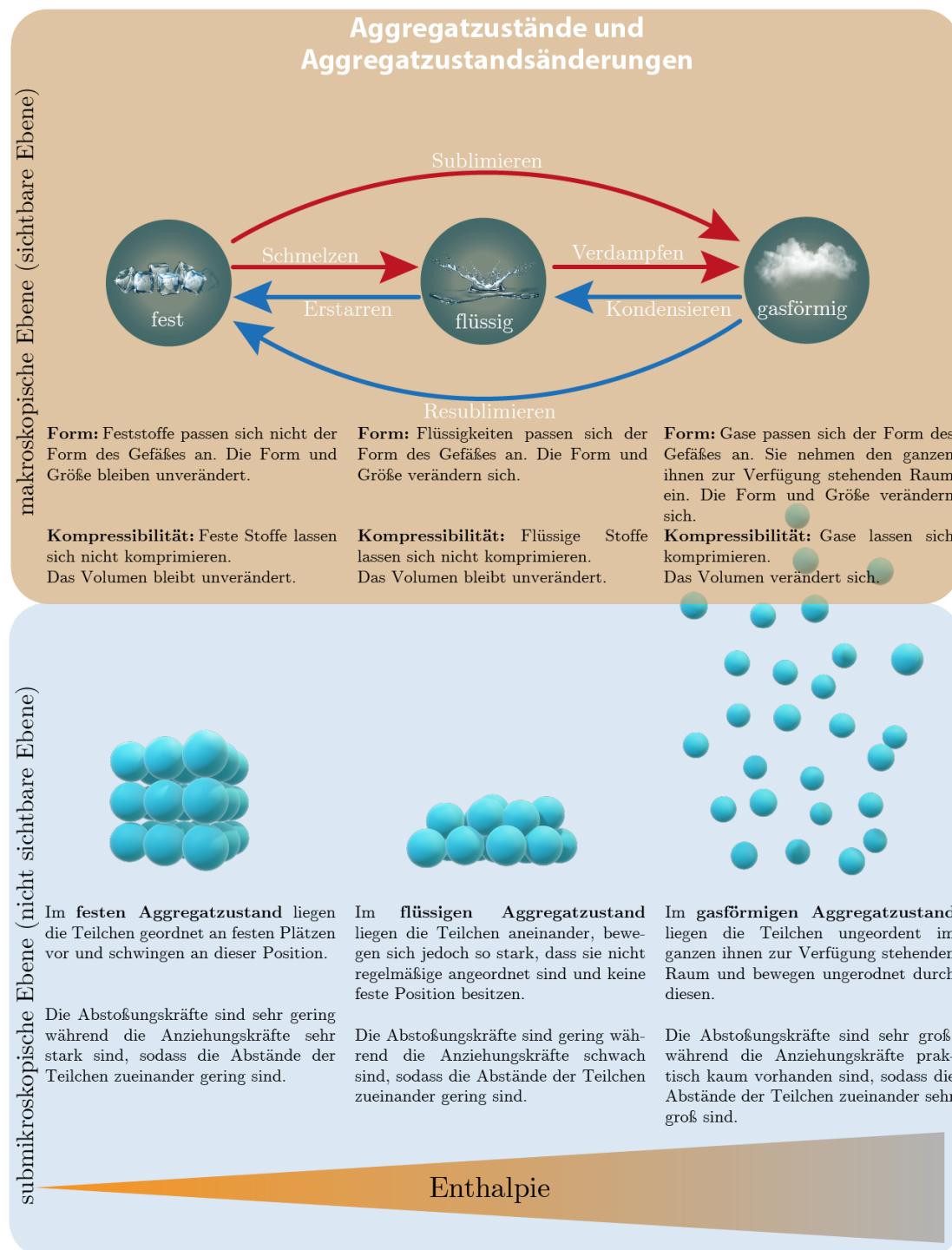


Abbildung 30: Makroskopische und submikroskopische Betrachtungsweise am Beispiel Wasser

Für die vorangegangenen Versuche zum Wasser und der Komprimierbarkeit von Stoffen haben sich die bisherigen Merkmale des undifferenzierten Teilchenmodells bereits bewährt.

Der Versuch „Erhitzen von Kerzenwachs“ initiiert die Verdeutlichung, dass sich die kleinen Teilchen verschiedener Stoffe unterscheiden. Im Sinne eines

„*Refutations*<sup>15</sup>-Ansatzes“ [103, S. 33] zur Anstoßung eines Conceptual Changes [104, S. 56], wird dieser Prozess mit dem bereits mehrmals zuvor betrachteten Versuchs der Aggregatzustandsänderung von Wasser verglichen. In den Schüler:innenvorstellungen werden farblose Flüssigkeiten oft als Wasser deklariert. Um auch dieser Vorstellung entgegenzuwirken, wird in dem folgenden Versuch Kerzenwachs erhitzt und mit Wasser, in Bezug auf Schmelz- und Siedetemperatur respektive Schmelz- und Siedebereich bei Kerzenwachs, verglichen. Gleichzeitig interpretieren die Lernenden den Versuch auf der Teilchenebene und festigen das zuvor gewonnene Wissen.

### Versuch 13: Erhitzen von Kerzenwachs (Paraffin)

#### *Demonstrationsexperiment*

**Geräte:** 10x75 mm Reagenzglas, Brenner, Stativ, Klemme, Muffe, Thermometer (bis mind. 400°C), Feuerzeug

**Chemikalien:** Paraffin

#### **Durchführung:**

Das Reagenzglas wird etwa bis zur Hälfte mit Paraffin gefüllt (die Menge sollte so gewählt werden, dass der Temperaturfühler das Paraffin im flüssigen Aggregatzustand erreicht). Danach wird das Thermometer in das Reagenzglas hineingesteckt, sodass es mittig die Temperatur des Paraffins messen kann. Anschließend wird mit dem Brenner das Reagenzglas kurz und gelinde erhitzt. Dabei achtet man auf die Temperaturanzeige des Thermometers. Sobald das Kerzenwachs schmilzt, wird die in etwa festzustellende Schmelztemperatur festgehalten. Anschließend wird das Paraffin bis zum Sieden erhitzt. Sobald der Siedebereich erreicht ist, wird der Brenner entfernt und ausgeschaltet.

**Hinweis:** Bei Verwendung eines Thermometers mit einem Temperaturbereich bis 100 °C kann nur der Schmelzbereich gemessen werden. Die Siedetemperatur (390 – 420 °C) kann nur mit einem Digitalthermometer mit erhöhtem Messbereich festgestellt werden.

---

<sup>15</sup> „*Refutations* aktivieren eine Fehlvorstellung und betonen gleichzeitig, dass dieses Vorwissen beziehungsweise diese Annahme nicht richtig ist beziehungsweise nicht dem aktuellen Forschungsstand entspricht. Außerdem liefert es Erklärungen und Erkenntnisse, weshalb dieses Vorwissen oder die bestehende Annahme eine Fehlvorstellung darstellt, und bietet so die Möglichkeit, neues, konkretes Wissen aufzubauen.“ [Barke et. al. S. 34]

### Versuchsaufbau:

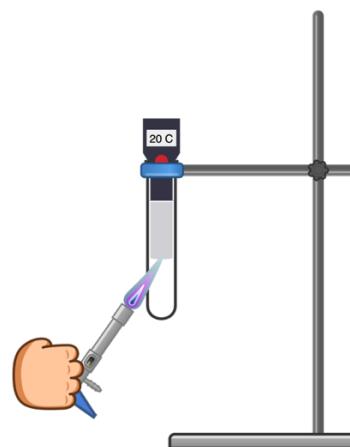


Abbildung 31: Versuchsaufbau Erhitzen von Kerzenwachs

**Beobachtung:** Der zu untersuchende Ausgangsstoff ist weißes Paraffin. Dieses befindet sich bei einer Raumtemperatur von 25 °C im festen Aggregatzustand.

Nachdem das Paraffin in das Reagenzglas gegeben wurde, ist mithilfe des Thermometers die Anfangstemperatur festgehalten worden. Während des Erwärmens ist zu beobachten, dass das Kerzenwachs je nach spezifischer Zusammensetzung zwischen 50 und 60 °C schmilzt. Es liegt nun eine farblose Flüssigkeit vor. Durch weiteres Erhitzen erhöht sich die Temperatur immer weiter. Über der flüssigen Phase bilden sich weiße Nebelschwaden, die langsam aufsteigen. Es beginnen feine Gasblasen aufzusteigen. Die Temperatur steigt weiter und die Flüssigkeit beginnt bei einer Temperatur von 390 - 420 °C zu sieden.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Bei Raumtemperatur liegt Paraffin im festen Aggregatzustand vor. Wird das Paraffin erhitzt, schmilzt dieses zwischen 50 und 60 °C. Durch weiteres Erhitzen werden Temperaturen von 390 - 420 °C erreicht. Das Paraffin beginnt zu sieden und geht in den gasförmigen Aggregatzustand über.

Auf submikroskopische Ebene betrachtet kann der Versuch wie beim Wasser gedeutet werden:

Die Teilchen des Kerzenwachses liegen bei Raumtemperatur so vor, dass sie eng aneinander liegen und die Anziehungskräfte der Teilchen untereinander sehr stark sind. Wird nun das Kerzenwachs erhitzt, geht das Kerzenwachs ab einer bestimmten Temperatur in den flüssigen Aggregatzustand über. Die Teilchen liegen immer noch nah beieinander, die Anziehungskräfte sind aber geringer geworden und die Teilchen bewegen sich stärker, sodass sie sich der Form des Reagenzglases anpassen. Zwischen von 390 – 420 °C siedet das

Kerzenwachs und geht in den gasförmigen Aggregatzustand über. Die Teilchen haben untereinander einen großen Abstand und keine Anziehungskräfte. Der Zusammenhang zwischen der makroskopischen, beobachtbaren Ebene und der submikroskopischen Ebene lässt sich zum Beispiel wie folgt darstellen.

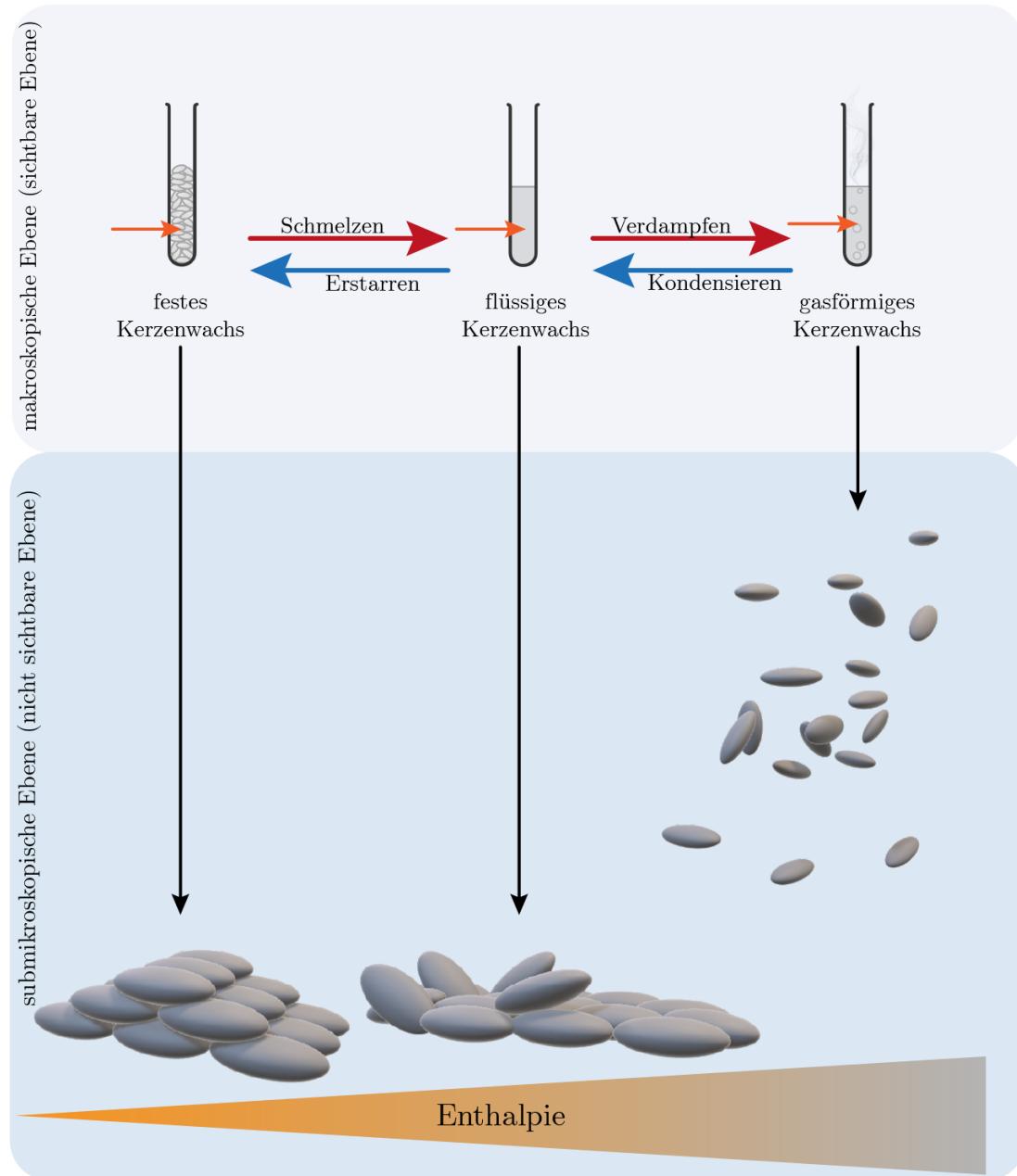


Abbildung 32: Makroskopische und submikroskopische Ebene am Beispiel von Paraffin

**Fachlicher Hinweis:** Bei Paraffin und bei Kerzenwachs aus dem Einzelhandel handelt es sich um ein Stoffgemisch, sodass kein eindeutiger Schmelz- oder Siedepunkt bestimmt werden kann. Bei dem Erhitzen von Kerzenwachs aus Teelichtern ist eine Verfärbung nach dem Prozess zu beobachten, sodass es ungeeignet für die Darstellung einer Aggregatzustandsänderung ist. Stattdessen findet eine ungewollte chemische Reaktion statt. Demzufolge wird für diesen Versuch reines Paraffin verwendet, wobei der Schmelzbereich zwischen 50 – 60

°C und der Siedebereich zwischen 390 – 400 °C liegt und es nach dem Prozess zu keiner Verfärbung kommt.

**Didaktische Anmerkung:** Während des Erhitzen kann in der Gasphase ein Nebel beobachtet werden. Bereits gasförmiges Paraffin steigt in den oberen Bereich des Reagenzglases. Da die Temperatur in diesem Bereich zu niedrig ist, kondensieren sie sofort und flüssiges Paraffin liegt in dem Gasgemisch Luft vor.

Vergleichen die Lernenden die Temperaturbereiche der Aggregatzustände von Wasser und Kerzenwachs (Paraffin) kommen sie zu der Erkenntnis, dass sich diese erheblich unterscheiden. Die Begründung für diesen Unterschied kann hier im Rahmen des Teilchenmodells nur dadurch gegeben werden, dass die Wasser- und die Wachsteilchen unterschiedliche Anziehungskräfte aufeinander ausüben.

**5. Die kleinen **Teilchen** verschiedener Stoffe **unterscheiden** sich.**

**Gleiche** Stoffe bestehen aus **gleichen** kleinen Teilchen.

In Bezug auf einen möglichen Größenunterschied bei kleinen Teilchen soll der nächste Versuch weitere Anhaltspunkte bringen oder vertiefen.

**Versuch 14:** Mischen von Brennspiritus mit Wasser

*Demonstrationsexperiment*

**Geräte:** 2 100-mL-Bechergläser, 2 100-mL-Plastikspritzen mit Luer-Lock-Anschluss, 1 Kombistopfen, 1 Luer-Lock F auf Luer-Lock F – Verbinder

**Chemikalien:** Brennspiritus, Wasser

**Praktischer Hinweis:** Der Brennspirits kann zuvor mit einem Farbstoff wie Cochenillerot A angefärbt werden, unter diesem Umstand sind die Phasengrenzen besser zu unterscheiden.

**Durchführung:**

*Vorbereitung:* Zunächst wird eine 100-mL-Spritze mit 50 mL Brennspiritus gefüllt. Dazu wird diese mit der Öffnung nach unten in das Becherglas mit dem Brennspiritus gehalten und ca. **60 mL Brennspiritus** aufgezogen. Anschließend wird die Spritze umgedreht und vorsichtig die enthaltene Luft herausgedrückt. Der Füllstand wird dann so angepasst, dass exakt **50 mL Brennspiritus** innerhalb des Spritzenkolbens enthalten sind. Die

überschüssigen Milliliter an Brennspiritus können in das Becherglas gegeben werden. Die Spritze wird nun mit einem Kombistopfen verschlossen und beiseitegelegt.

Auf die zweite 100-mL-Spritze werden der Luer-Lock F auf Luer-Lock F – Verbinder gesteckt und **60 mL Wasser** aufgezogen. Anschließend wird die Spritze umgedreht und vorsichtig die enthaltene Luft herausgedrückt. Der Füllstand wird dann so angepasst, dass exakt **50 mL Wasser** innerhalb des Spritzenkolbens enthalten sind. Die Spritze mit dem abgemessenen Wasser wird nicht mit einem Kombistopfen verschlossen, sondern für den Hauptversuch in der Hand behalten.

**Praktischer Hinweis:** Durch Klopfen an der Spritzenwand können Luftblasen vom Spritzenstempel nach oben getrieben werden. Diese müssen restlos entfernt werden.

**Hauptversuch:** Der Kombistopfen der 100-mL-Spritze mit dem Brennspiritus wird entfernt und auf dem Luer-Lock F auf Luer-Lock F – Verbinder der Spritze mit dem Wasser durch Drehen befestigt. Dabei ist zu beachten, dass die Spritzen sich in der Vertikalen befinden und die Spritze mit dem Brennspiritus über der Spritze mit dem Wasser ist. Danach wird langsam der Brennspiritus mithilfe des Spritzenstempels in die Spritze mit dem Wasser gedrückt. Gleichzeitig sollte an dem Stempel der gegenüberliegenden Spritze (mit Wasser) leicht gezogen werden. Nachdem der Brennspiritus vollständig umgefüllt wurde, wird das Volumen abgelesen. Anschließend wird die Apparatur geschüttelt, sodass Brennspiritus und Wasser sich vermischen. Das Volumen wird dann erneut abgelesen.

**Beobachtung:** Vergleicht man Brennspiritus und Wasser hinsichtlich ihrer Stoffeigenschaften, die durch die Sinne wahrgenommen werden, so sind sie farblos und bei Raumtemperatur flüssig. Lediglich durch den olfaktorischen Sinn lassen sie sich unterscheiden. Während Wasser geruchlos ist, weist Brennspiritus einen starken, charakteristischen (alkoholartigen) Eigengeruch auf. Während der Brennspiritus in die Spritze mit dem Wasser eingeleitet wird, können leichte farblose Schlieren vom Flüssigkeitseinstrom beobachtet werden. Des Weiteren kann nach dem Einleiten des Brennspiritus in der Nähe der 50-mL-Marke des Spritzenkolbens eine Phasengrenze der beiden Flüssigkeiten beobachtet werden. Das Gesamtvolumen an Flüssigkeit beträgt 100 mL. Werden nun beide Flüssigkeiten miteinander durch Schütteln vermischt, sind erneut farblose Schlieren erkennbar. Das dann abgelesene Volumen beträgt zum Schluss ca. 98 mL.

Der Versuch kann alternativ mit zwei 100- mL- Messzylindern durchgeführt werden. Dazu werden in zwei 100-mL-Messzylindern mit einmal 50 mL Wasser und einmal 50 mL Brennspiritus gefüllt. Anschließend wird der Brennspiritus zu dem Wasser langsam und überschichtend hinzugegeben und das Gesamtvolumen abgelesen. Zum Schluss wird der Messzylinder mit einem Stopfen verschlossen und geschüttelt. Allerdings können die Schüler:innen an dieser Stelle behaupten, dass das fehlende Volumen des Gemisches sich am Stopfen befindet.

**Fachlicher Hintergrund:** Beide Flüssigkeiten weisen ähnliche Stoffeigenschaften auf und können visuell nicht auseinandergehalten werden. Sie unterscheiden sich jedoch in den Eigenschaften Geruch, Dichte, Brennbarkeit, Viskosität und weitere. Der Hauptbestandteil von Brennspiritus ist Ethanol (94 – 96 %), der vergällt und somit für den Verzehr ungeeignet ist. Aufgrund der unterschiedlichen Dichten von Brennspiritus ( $0,807 \text{ g/ cm}^3$ ) [105] und Wasser ( $0,997 \text{ g/ cm}^3$ ) ist eine Phasengrenze beobachtbar, wenn das Wasser langsam mit dem Brennspiritus überschichtet wurde. Die Volumenkontraktion ist auf submikroskopischen Ebene erklärbar. Ursache der Volumenkontraktion sind Wechselwirkungen zwischen Wasser- und Ethanol-Molekülen. Anziehungskräfte wie Dipol-Dipol-Wechselwirkung [106, S. 517] und das Ausbilden von Wasserstoff-Brückenbindungen [106, S. 621] können dabei bewirken, dass die Abstände zwischen den Molekülen geringer werden.

Betrachtet man beide Moleküle auf der Teilchenebene wird ein Größenunterschied deutlich. Aus dieser Tatsache ergibt sich die didaktische Reduktion.

**Didaktische Reduktion:** Für die Schüler:innen im Chemieanfangsunterricht wird die Auswertung des Versuchs auf die Molekülgröße der beiden Komponenten reduziert. Innerhalb dieser Relation ist erkennbar, dass die Wasser-Teilchen kleiner als die Ethanol-Teilchen sind. Die kleineren Wassermoleküle lagern sich in die Zwischenräume der größeren Ethanol-Moleküle und füllen diese aus. Die molekularen Wechselwirkungen werden bei der didaktisch reduzierten Betrachtungsweise nicht berücksichtigt.

Der **wesentliche Lerninhalt** erschließt sich den Schüler:innen mithilfe eines ModellVersuchs. Dabei wird Ethanol mit den Erbsen und Wasser mit den Reiskörnern modellhaft dargestellt.

## Versuch 15: Mischen von Erbsen mit Reis

### *Schülerexperiment*

**Geräte:** 1 100-mL-Becherglas, 2 100-mL-Plastikspritzen mit Luer-Lock-Anschluss, 1 Glasstab

**Chemikalien:** Erbsen, Reiskörner

### Durchführung:

**Vorbereitung:** Der Stempel einer 100-mL-Spritze wird entfernt und beiseitegelegt. Anschließend wird der Spritzenkörper mit 50 mL Reis gefüllt. Der Stempel wird nun in den Spritzenkörper gesteckt und der Füllstand überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Der Spritzenstempel wird wieder entfernt und der Spritzenkörper mit dem Reis in das Becherglas gestellt.

Die zweite 100-mL-Spritze wird analog dazu mit Erbsen gefüllt.

**Praktischer Hinweis:** Die Überprüfung mit dem Spritzenstempel ist notwendig, da die Wölbungen des Spritzenstempels und des Spritzenkörpers bei der Befüllung berücksichtigt werden müssen.

**Hauptversuch:** In den Spritzenkörper mit den Erbsen werden die Reiskörner gegeben und mittels eines Spritzenstempels das Volumen abgelesen (dieses sollte bei 100 mL liegen). Anschließend wird der Spritzenstempel entfernt. Die Erbsen und Reiskörner werden mit einem Glasstab durchmischt. Anschließend wird mithilfe des Spritzenstempels das Volumen erneut abgelesen.

**Praktischer Hinweis:** Die Reihenfolge der Zugabe von Reis und Erbsen ist unbedingt einzuhalten. Dadurch, dass die Reiskörner in dem Spritzenkörper oben sind, lassen sich beide Komponenten leichter, besser und schneller miteinander vermischen. Bei der umgekehrten Reihenfolge bleibt ein Großteil der Erbsen an der Oberfläche, die Vermischung ist nicht optimal und die Volumenminderung ist nicht eindeutig genug bzw. es kann sogar zu einer Volumendilatation kommen.

**Beobachtung:** Die abgelesenen Volumina sind in der folgenden Tabelle festgehalten:

Komponente	Anfangsvolumen	Gesamtvolumen vor dem Mischen	Gesamtvolumen nach dem Mischen
Erbsen	50 mL	100 mL	90 mL
Reiskörner	50 mL		

Tabelle 12: Messwerte der aufgenommenen Volumina

Das Gesamtvolumen hat sich nach dem Durchmischen der beiden Komponenten um 10 mL vermindert.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Die Erbsen und Reiskörner stehen analog zu dem Versuch „*Mischen von Brennspiritus mit Wasser*“. Dabei symbolisieren die Erbsen das im Brennspiritus enthaltene Ethanol und die Reiskörner das Wasser. Die Schüler:innen vergleichen dabei die Größe der Erbsen und Reiskörner.

Letztendlich gelangen die Schüler:innen zu der Erkenntnis, dass die Reiskörner die Zwischenräume der größeren Erbsen füllen. Dadurch wird die Volumenverminderung verursacht.

## 6. Teilchen unterscheiden sich in ihrer **Größe, Form und Masse**.

Bei dem Versuch „*Mischen von Erbsen mit Reis*“ ist für die Lernenden erkenntlich, dass wenn zwei Stoffe sich miteinander vermischen, diese nicht verschwinden. Zur Festigung wird aus dem Alltag das Lösen von Zucker in Wasser thematisiert, wie es beispielsweise beim Trinken von Tee geschieht, mit einer initiierten Problemfrage: „*Verschwindet Zucker, wenn dieser in Wasser gelöst wird?*“.

### Versuch 16: Lösen und Auskristallisieren von Zucker

*Demonstrationsexperiment* nach C. Collin [73, S. 36]

**Geräte:** 2 150-mL-Bechergläser, Petrischale, Wasserkocher, Föhn, 3-mL-Pipette, Spatel, Glasstab

**Chemikalien:** Haushaltszucker, Wasser

#### Durchführung:

**Vorbereitung:** Zum Herstellen einer Zuckerlösung werden 75 mL kristalliner Zucker mit 50 mL warmem Wasser in ein Becherglas zusammengegeben und solange mit dem Glasstab durchmischt, bis sich der Zucker vollständig gelöst hat und eine optisch klare, homogene Lösung vorliegt.

**Hauptversuch:** Mit einer 3-mL-Pipette wird 1 mL der Zuckerlösung auf die Petrischale getropft und die Lösung mit einem Glasstab möglichst breitflächig horizontal und vertikal ausgestrichen. Anschließend erwärmt man die ausgestrichene Lösung mit dem Föhn. Dieser wird langsam über der Petrischale hin und her bewegt, sodass die Zuckerlösung gleichmäßig erwärmt wird.

Zwischendurch bricht man mit dem Glasstab die sich bildenden Krusten auf, damit das darin eingeschlossene Wasser verdunsten kann. Die sich auf der Petrischale bildende Kruste kann zum Abschluss mit dem Spatel abgekratzt werden.

(Achtung: Die Petrischale kann noch sehr heiß sein!)

**Beobachtung:** Der Zucker löst sich im farblosen Wasser vollständig und ist nicht mehr sichtbar. Durch das Erwärmen der ausgestrichenen Lösung in der Petrischale entstehen dort weiße Streifen. Nach dem Abkratzen der Zuckerkruste von der Petrischale mit dem Spatel sind Zuckerkristalle erkennbar.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Zu Beginn des Versuchs befinden sich im unteren Bereich des Becherglases die Zuckerkristalle. Darüber und dazwischen ist das Wasser angeordnet. Nach dem Lösen ist der Zucker nicht mehr sichtbar, also scheinbar verschwunden. Durch Rückgewinnung (Erhitzung eines Teils der Zuckerlösung) des Zuckers kann bei diesem Versuch gezeigt werden, dass der Zucker, obwohl er nach dem Lösen nicht mehr sichtbar ist, dennoch in der Lösung vorhanden war.

Die Schüler:innen interpretieren die drei Phasen (ungelöster Zucker, gelöster Zucker und auskristallisierter Zucker) auf Teilchenebene. In der ersten Phase ist der Zucker noch sichtbar und befindet sich im festen Aggregatzustand. Die Teilchen sind entsprechend eng nebeneinander und liegen geordnet vor. In der nachfolgenden Phase liegen die Zucker-Teilchen ungeordnet zwischen der Wasser-Teilchen vor. Zuletzt liegen sie geordnet und eng beieinander vor, ohne die Anwesenheit von Wasser-Teilchen.

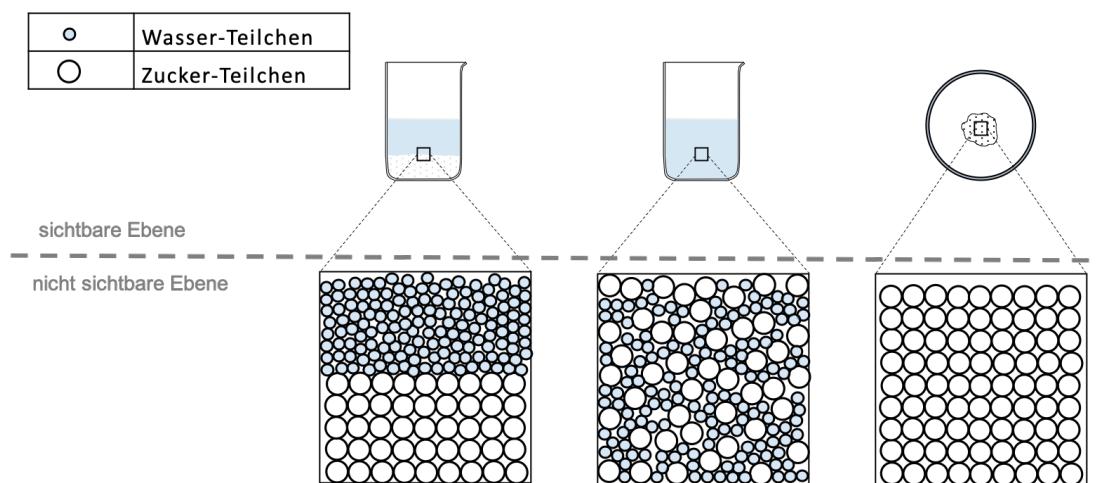


Abbildung 33: Lösen und Auskristallisieren von Zucker

Quelle: eigene Darstellung

Überdies kann mit den Schüler:innen über die Farbe der Zuckerlösung diskutiert werden. Es kann zu der Fragestellung kommen, warum die Lösung farblos und nicht weiß erscheint. Schließlich ist der verwendete Zucker weiß.

Dazu kann ein Bild von Zuckerkristallen gezeigt werden. Diese erscheinen einzeln farblos und werden durch Unregelmäßigkeiten im Aufbau weiß.



Abbildung 34: Zuckerkristalle

Einen ähnlichen Versuch stellt das „Molekulare Filtrieren“ dar. Die Schüler:innen wissen durch die Rückgewinnung von Zucker aus einer Zuckerlösung, dass sich ein Feststoff in einer Flüssigkeit lösen kann. Bei dem folgenden Versuch löst sich die Badefarblette und färbt die Ausgangslösung, in diesem Fall farbloses Wasser, rot. Die Schüler:innen sollen mittels Experiment untersuchen, ob sich der Ausgangszustand des Wassers durch Filtrieren wiederherstellen lässt.

### Versuch 17: Molekulares Filtrieren

*Schülerexperiment verändert nach A. Reinke in [73, S. 36]*

**Sicherheit:** Schutzbrille

**Geräte:** 3 Reagenzgläser (16 x 160 mm), 1 Becherglas 100 mL, 1 Trichter, 1 Messzyylinder 25 mL, Waage (Genauigkeit 0,1 g), Reagenzglasständer, Filterpapier Rotilabo®-Rundfilter, Typ 14A, AP45.1, Membran-Durchmesser 110 mm,

**Chemikalien:** Isana Badefarbe Rot (Farbstoff: Azorubin CI 14720, Rossmann, Artikelnummer: 865036), Leitungswasser

**Durchführung:**

**Vorbereitung:** Vier Rundfilter werden wie im Folgenden dargestellt präpariert und anschließend aufeinandergesetzt so, dass sich am Ende auf jeder Seite die gleiche Anzahl an Lagen befindet.

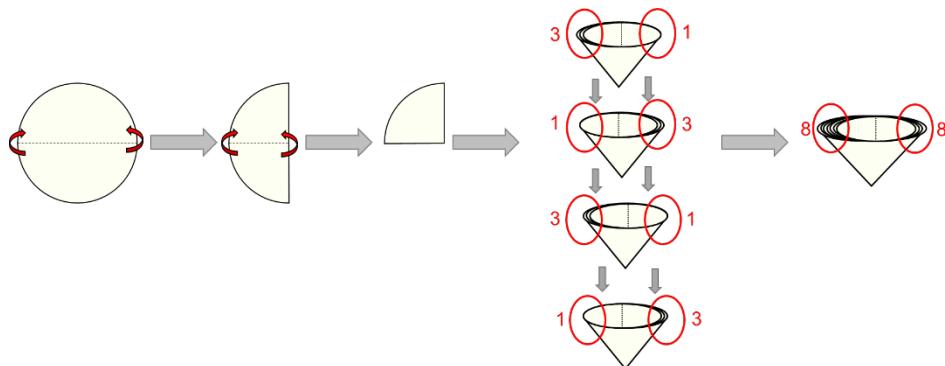


Abbildung 35: Ikonische Abstraktion zum Zusammensetzen der Filter

Den präparierten Rundfilter setzt man in den Trichter, befeuchtet ihn mit Leitungswasser.

#### Herstellen der Lösung:

Von der Farbtablette wird **1 g** abgewogen. Anschließend werden **15 mL** Leitungswasser abgemessen und in das Becherglas mit der Badefarbtablette gegeben. Die entstandene Lösung wird auf zwei Reagenzgläser gleichermaßen aufgeteilt.

#### Filtrieren:

Der Trichter mit dem angefeuchteten Filterpapier wird in das dritte Reagenzglas gesteckt. Danach wird die Lösung eines Reagenzglases vorsichtig in die Mitte des Filterpapiers gegossen. Das zweite Reagenzglas mit der Lösung verbleibt als Referenz.

**Beobachtung:** Die rote Lösung ist nach dem Filtrieren farblos. Im Filter bleiben rote Farbstoffpartikel zurück.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Zunächst wird der Prozess zur Herstellung der Farbtablette in der unten stehenden Darstellung skizziert. In der entstandenen Lösung befinden sich sowohl Wasser- als auch Farb-Teilchen. Anschließend erfolgt die Interpretation der Filtrierung. Wie in der Zeichnung erkennbar, verbleiben die roten Farb-Teilchen in dem Filter. Beide Komponenten (Wasser und Badefarbe) werden voneinander getrennt. In dem Reagenzglas befinden sich im Gegensatz zum Reagenzglas, das als Referenz dient, keine Farb-Teilchen mehr.

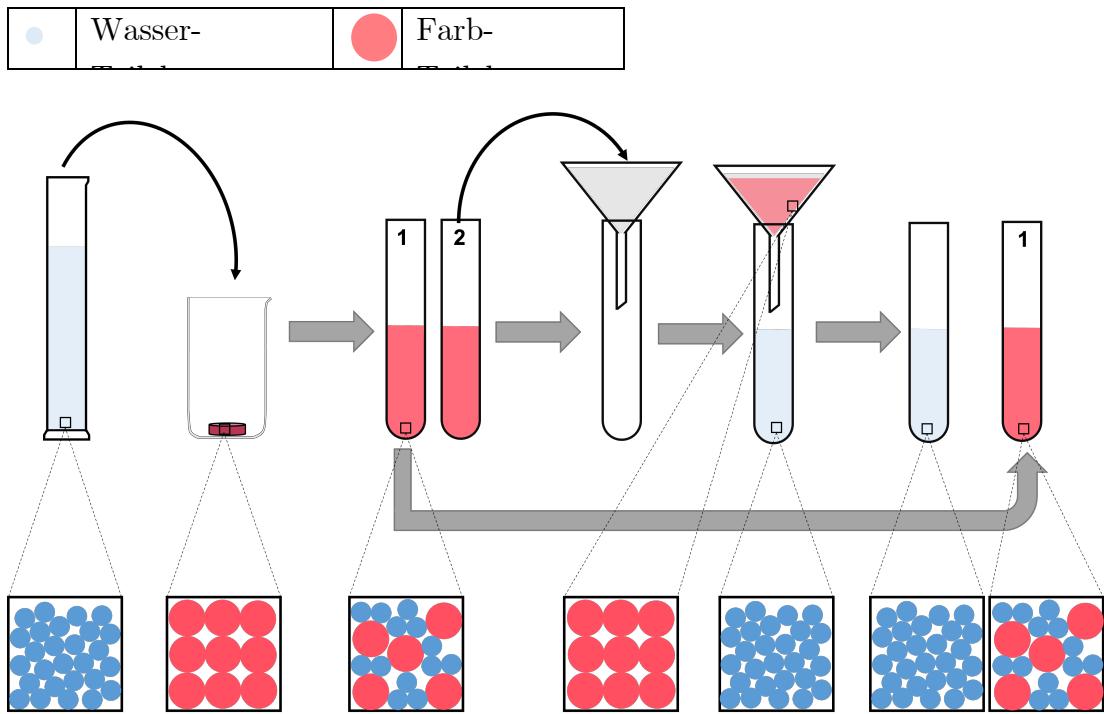


Abbildung 36: Deutung „Molekulares Filtrieren“

**Fachliche Deutung:** Bei dem eingesetzten Farbstoff der Badefarhtablette handelt es sich um Azorubin.

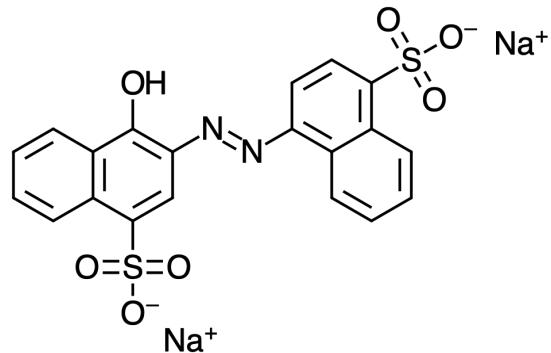


Abbildung 37: Azorubin

Der Rückhalt von Azorubin erfolgt nicht aufgrund der Molekülgröße, sondern aufgrund der Adsorptionseigenschaften des Filterpapiers, das laut Hersteller zu 100 % aus Cellulose besteht. Das Azorubin wird aufgrund seiner hydrophilen Gruppen (Sulfat- und Hydroxygruppen) an die Cellulose adsorbiert (nach [73, S. 38]).

Ein Vergleich des Moleküldurchmessers mit dem Rückhaltebereich des Filterpapiers verdeutlicht dieses:

	[nm]
Rückhaltebereich des Filterpapiers	3.000 - 5.000
Moleküldurchmesser von Azorubin	ca. 1,5

Tabelle 13: Vergleich Rückhaltebereich Filterpapier mit Moleküldurchmesser von Azorubin

**Didaktische Anmerkung:** Die Methoden der Stofftrennung wie Filtrieren, Dekantieren, Chromatografie und weitere wurden bislang nicht im Unterrichtsgeschehen thematisiert, dennoch ist davon auszugehen, dass alle Schüler:innen das Prinzip des Filtrierens aus ihrer Alltagserfahrung kennen. Die Wechselwirkung zwischen der Cellulose und dem Azorubin können erst nach Einführung des differenzierten Atommodells und der Behandlung von Farbstoffen diskutiert werden. Daher wird dieser Versuch auf die Aussage reduziert, dass die Farb-Teilchen im Filter zurückbleiben (nach [73, S. 38]). Daraus lässt sich schließen, dass das Filterpapier nach kurzer Zeit keine Farbstoffe mehr adsorbieren kann, da die Konzentration der einzelnen Farbstoffe innerhalb der hergestellten Lösung zu groß ist und so das Filterpapier passieren. Untersucht man auch Badetabletten mit anderen Farben und verändert die Menge der zugeführten Tablette für die Lösung, lässt sich lediglich bei der Farbe Lila eine farblose, klare Lösung beobachten, wenn für die Lösung 0,5 g einer Tablette in 15 mL Wasser gelöst werden. Bei den Farben blau und grün ist bei einer Menge von 0,2 g zwar eine Aufhellung der Lösung zu erkennen, dennoch passiert zu viel Farbstoff das Filterpapier. Die Lösungen müssten noch weiter verdünnt werden, z. B. durch Erhöhung der Wassermenge oder nochmalige Halbierung der Tablettenmenge. Aus diesem Grund sind die Farben rot und lila für den Versuch zu empfehlen, da die abzuwiegenden Mengen für Schüler:innen handhabbar sind.

Folgendes können die Schüler:innen anhand dieses Versuchs festhalten:

**7. Unterschiedliche Teilchen lassen sich voneinander trennen.**

Ein wichtiger zu thematisierender Sachinhalt ist die Geschwindigkeit, mit der sich die Teilchen bewegen. Das kann mit dem Versuch zur Brownschen Molekularbewegung gezeigt werden.

### Versuch 18: Brownsche Molekularbewegung

*Schüler- oder Demonstrationsexperiment nach A. Reinke in [73, S. 38]*

**Geräte:** Mikroskop mit 400-facher Vergrößerung, Pipette mit kleinem Becherglas, Objektträger mit Deckgläschen, Papiertücher

**Chemikalien:** H-Milch mit 1,5 % Fettanteil

**Durchführung:** Man gibt wenige Milliliter H-Milch in ein Becherglas und davon mit einer Pipette einen kleinen Tropfen auf den Objektträger. Diesen deckt man mit einem Deckgläschen blasenfrei ab und drückt das Plättchen leicht an. Gegebenenfalls wird die überstehende Flüssigkeit mit einem Papiertuch aufgesaugt. Nun spannt man den Objektträger auf dem Objekttisch ein und lässt ihn für etwa zwei bis drei Minuten ruhen. Dann wird die Lichtquelle eingeschaltet und das Objektiv mit 400-facher Vergrößerung gewählt. Anschließend stellt man mit dem Grob- und Feintrieb am Mikroskop ein klares Bild ein.

**Beobachtung:** Mit dem Mikroskop lässt sich erkennen, dass zahllose kleine Fetttröpfchen sich hin und her bewegen. Fokussiert der Beobachter nur ein Fetttröpfchen (eingekreist in Abbildung 38), so ist erkennbar, dass sich dieses nach kurzer Zeit nicht mehr am Ausgangsplatz befindet.



Abbildung 38: Brownsche Bewegung am Beispiel von 1,5 % Milch

**Wesentlicher Lerninhalt:** Aus dieser Beobachtung kann abgeleitet werden, dass auch scheinbar homogene Lösungen aus kleinen Teilchen bestehen. Aus der Beobachtung der sich regellos umher bewegenden Fetttröpfchen können die Lernenden auf Teilchenstöße von noch kleineren Teilchen schließen, die im Mikroskop nicht mehr sichtbar sind. In diesem Fall sind das die Wasser-Teilchen. Diese sind in ständiger ungerichteter Bewegung und stoßen gegen die Fetttröpfchen [73, S. 38].

Die Schüler:innen können festhalten:

**8. Teilchen sind in ständiger Bewegung.**

Als abschließender Versuch dient ein alltäglicher Vorgang des Aufbrühens von Tee. In diesem Versuch werden alle bisher gewonnenen Erkenntnisse zum Teilchenmodell zusammengefasst und angewendet.

### Versuch 19: Aufbrühen von rotem Früchtetee

*Schülerexperiment*

**Geräte:** 400-mL-Becherglas

**Chemikalien:** ein Beutel roter Früchtetee

**Durchführung:**

*Variante 1:* In ein 400-mL Becherglas werden 300 mL heißes Wasser gegeben. Anschließend wird ein Teebeutel hineingegeben.

*Variante 2:* Bei dieser Versuchsdurchführung wird mithilfe eines Glasstabes der Teebeutel zügig nach unten an den Rand des Becherglases gedrückt. Der Glasstab fixiert den Teebeutel am Boden des Becherglases.

**Beobachtung:**

*Variante 1:* Kurz nachdem der Teebeutel in das Becherglas gegeben wurde, können rote Schlieren beobachtet werden, die sich, vom Teebeutel weg, zunächst nach unten und dann allmählich im ganzen Becherglas verteilen.

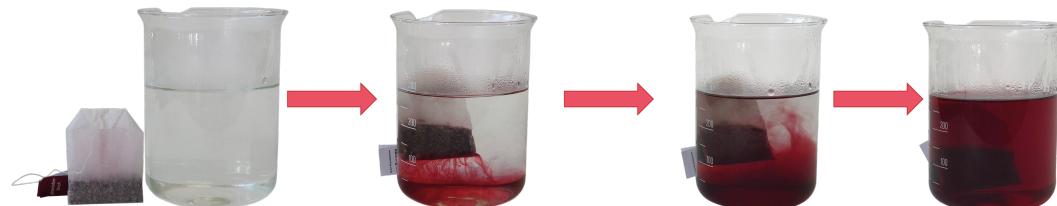


Abbildung 39: Beobachtung Teebeutel in heißem Wasser

*Variante 2:* Der Teebeutel befindet sich im heißen und farblosen Wasser und ist am Boden des Becherglases mittels des Glasstabes fixiert. Nach wenigen Sekunden entweichen rote Schlieren aus dem Teebeutel und sammeln sich am Boden des Becherglases. Mit seitlichem Blick auf das Becherglas lassen sich zwei getrennte Schichten erkennen, eine rote in Bodennähe und eine farblose darüber. Nach einem gewissen Zeitraum vermischen sich ohne äußere Einwirkung die farblose und rot gefärbte Schicht vollständig miteinander. Es ist nur noch eine rote, optisch klare, homogene Lösung wahrnehmbar.

**Deutung:** Bei dem roten Farbstoff handelt es sich um Bestandteile des Tees, die aufgrund ihrer geringen Molekülgröße den Teebeutel passieren können. Dennoch sinken die wasserlöslichen Bestandteile des Tees zunächst nach unten.

Das kann mit der höheren Dichte der Bestandteile gegenüber der Dichte von Wasser begründet werden. Dennoch durchmischt sich der Tee allmählich. Als Erklärung dient hier die Brownsche Bewegung der Moleküle. Dadurch kommt es zur Durchmischung der Teebestandteile mit dem Wasser. Dieser Prozess wird Diffusion genannt.

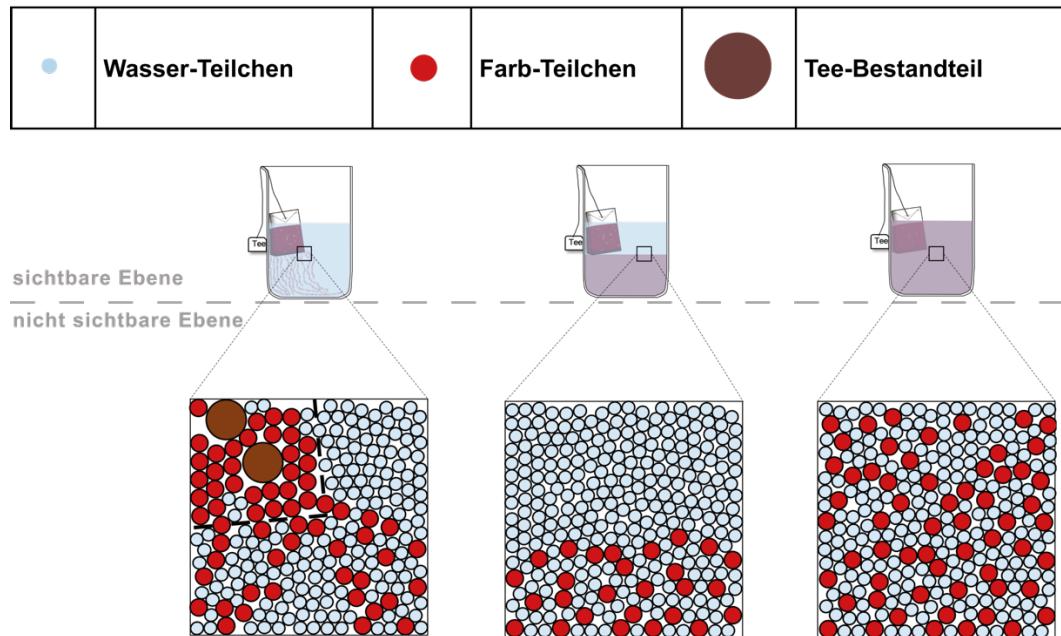


Abbildung 40: Deutung auf submikroskopischer Ebene

### 3.6 Zusammenfassung Teilchenvorstellung

Nach der Durchführung, Beobachtung und Interpretation der aufgeführten Versuche mit der Vorstellung, dass Materie aus Teilchen besteht und sich das Teilchenmodell bewährt hat, sollten nun die gesammelten Erkenntnisse zur Teilchenvorstellung zusammengefasst werden. Dazu kann beispielsweise eine Coneptmap entwickelt werden:

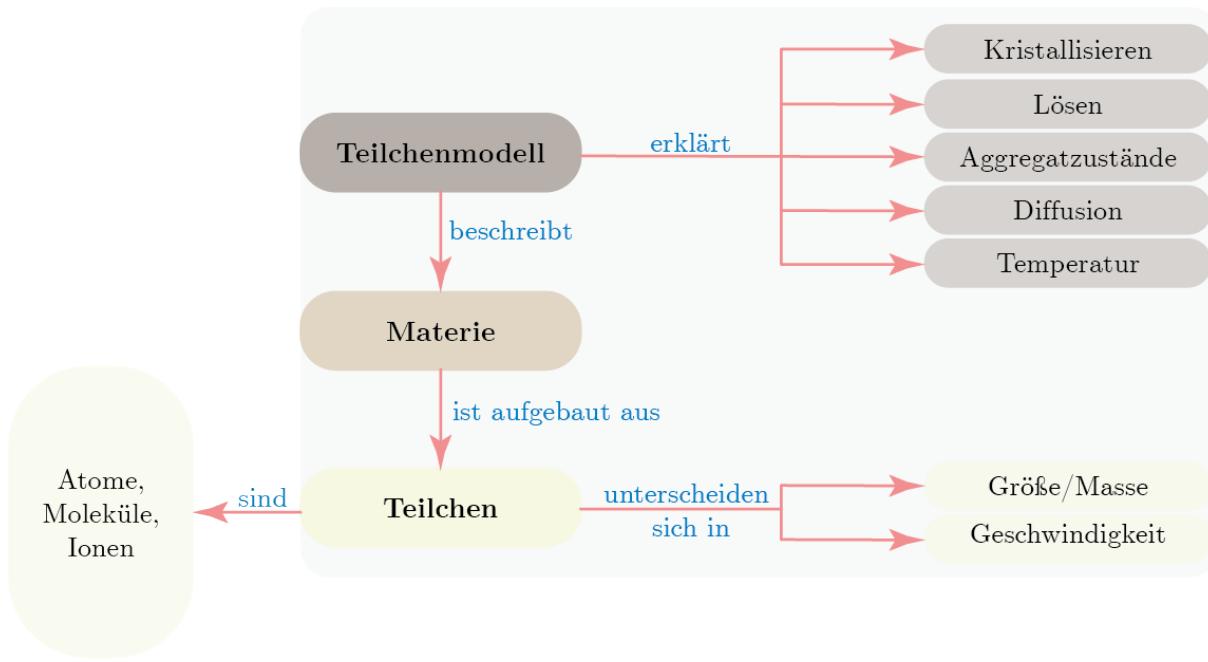


Abbildung 41: Conceptmap zum Teilchenmodell

Quelle: erweitert nach [107, S. 40]

Im weiteren Verlauf können verschiedene heterogene und homogene Stoffgemische untersucht und mit dem undifferenzierten Teilchenmodell interpretiert werden.

Zu den in der Einheit beschriebenen Experimenten (Kapitel 3) wurde umfangreiches Unterstützungsmaterial entwickelt. Die in Kapitel 2.4 vorgestellte dreidimensionale Planungshilfe dient dazu, zu erkennen, ob möglichst alle Abstraktionsgrade Hilfen für die Schüler:innen angeboten werden, um den nächsthöheren Komplexitätsgrad zu erreichen. Zu jedem Versuch wird zunächst das Arbeitsblatt mit den Aufgaben vorangestellt, so wie es alle Schüler:innen der Lerngruppe erhalten. In einer Übersicht wird darauf hingewiesen, welche Unterstützungsmaterialien zu welchen Aufgaben bzw. Abschnitten eines Versuchs (Vorbereitung, Durchführung, Beobachtung und Auswertung) entwickelt wurden, um sie anschließend zu beschreiben.

## Kapitel 4 Differenzierung „Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells“

Im nachfolgenden Teil wird die Unterrichtseinheit zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells unter dem Aspekt der Differenzierung betrachtet. Dabei entfallen auf zwei Ebenen des Komplexitätsgrades (Fakten und Prozessbeschreibung) die symbolische Ebene des Abstraktionsgrades (siehe Abbildung 42).

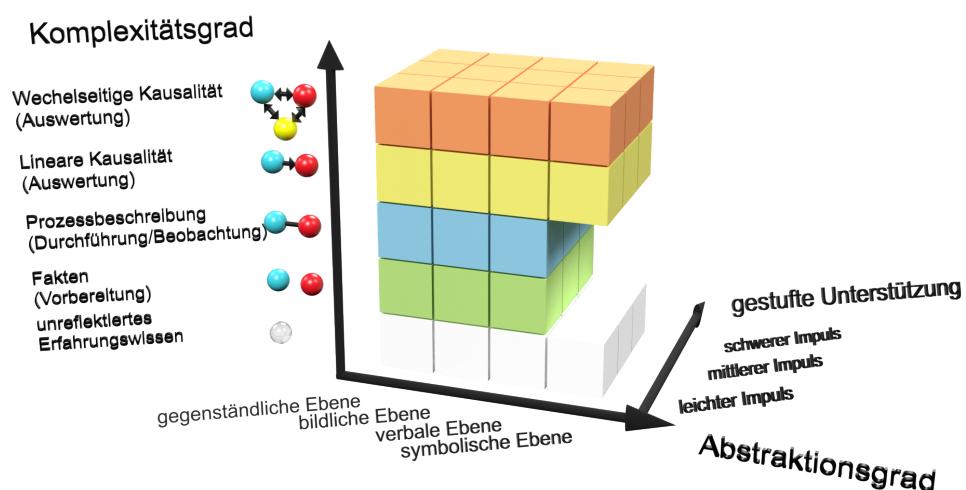


Abbildung 42: 3D-Planungshilfe zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells

Grund für diese Anordnung ist, dass auf diesen beiden Ebenen keine Deutung des Phänomens stattfindet. Diese erfolgt entweder auf der Ebene der linearen und/oder der wechselseitigen Kausalität. Außerdem entfällt die mathematische Ebene des Abstraktionsgrades vollständig, da keine Mathematisierung vorgesehen ist.

Im Fokus der nachfolgend aufgeführten Versuche stehen unterschiedliche Unterstützungsangebote, mit denen die Schüler:innen ihr domänen spezifisches Wissen über die Modellvorstellung strukturieren, erschließen und vertiefen können, dass Materie aus kleinen Teilchen aufgebaut ist. Dabei werden jeweils die zur Auswahl stehenden Unterstützungsangebote aufgelistet. Daraus werden ausgewählte Unterstützungsmöglichkeiten beschrieben, die dabei in die dreidimensionale Planungshilfe eingeordnet werden.

#### 4.1 Differenzierung Versuch 7: „Erhitzen von Eis“

Anliegen des Konzeptes aus Kapitel 3 ist zunächst eine Grundlage zu den Aggregatzustandsänderungen in Abhängigkeit von thermischer Energie zu legen. An diesem Punkt kann die Lehrkraft auf den Versuch „Erhitzen von Eis“ zurückgreifen und auf die konstanten Temperaturen während des Schmelzens und Verdampfens eingehen. Diese sollen dann mithilfe des Teilchenmodells erklärt werden. Die Schüler:innen erhalten dazu eine entsprechende Aufgabenstellung in Form eines Arbeitsblattes, das mit den Unterstützungsangeboten gelöst werden kann. Die Aufgabenstellung bezieht sich auf die Beobachtungen des Versuchs und soll nun mit dem undifferenzierten Teilchenmodell gedeutet werden. Demzufolge sind nur Auswahloptionen der Unterstützungsangebote für die Prozessbeschreibung, in Bezug auf die bereits vollzogene Beobachtung, bis hin zur wechselseitigen Kausalität berücksichtigt.

Alle Schüler:innen erhalten zu diesem Versuch das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 43 und Abbildung 44 sowie im Anhang):

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Thema: Teilchenmodell

**„Erhitzen von Eis II: Deutung mit dem Teilchenmodell“**

**Aufgabe:**

Diesen Versuch hast du bereits durchgeführt und ein Temperatur-Zeit-Diagramm erstellt. Zur Erinnerung ist der Versuchsablauf unten abgebildet.

1. Löse zur Wiederholung die Aufgabe zu den Aggregatzuständen des Wassers.  
 2. Deute danach den Versuch mit dem **Teilchenmodell**.  
 3. Verknüpfe die Teilchenebene mit dem Temperatur-Zeit-Diagramm.

**Versuchsablauf:**

1. Ordne den Temperaturen die richtigen Aggregatzustände zu

Temperatur	Aggregatzustand des Wassers
kleiner als oder gleich ( $\leq$ ) 0 °C	
zwischen 0 °C - 100 °C	
größer als oder gleich ( $\geq$ ) 100 °C	

**Deutung des Versuches mit dem Teilchenmodell**

2. Deute deine Beobachtungen zu dem Versuch mit der Teilchenvorstellung. Ergänze dazu das Schema.

Trage bei a) die Aggregatzustände und die Aggregatzustandsänderungen des Wassers ein.

Zeichne bei b) die Teilchen ein.

Hinweis: Beachte dafür die **rundliche Form** der Teilchen und die **unterschiedliche Anordnung** im festen, flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand.

1

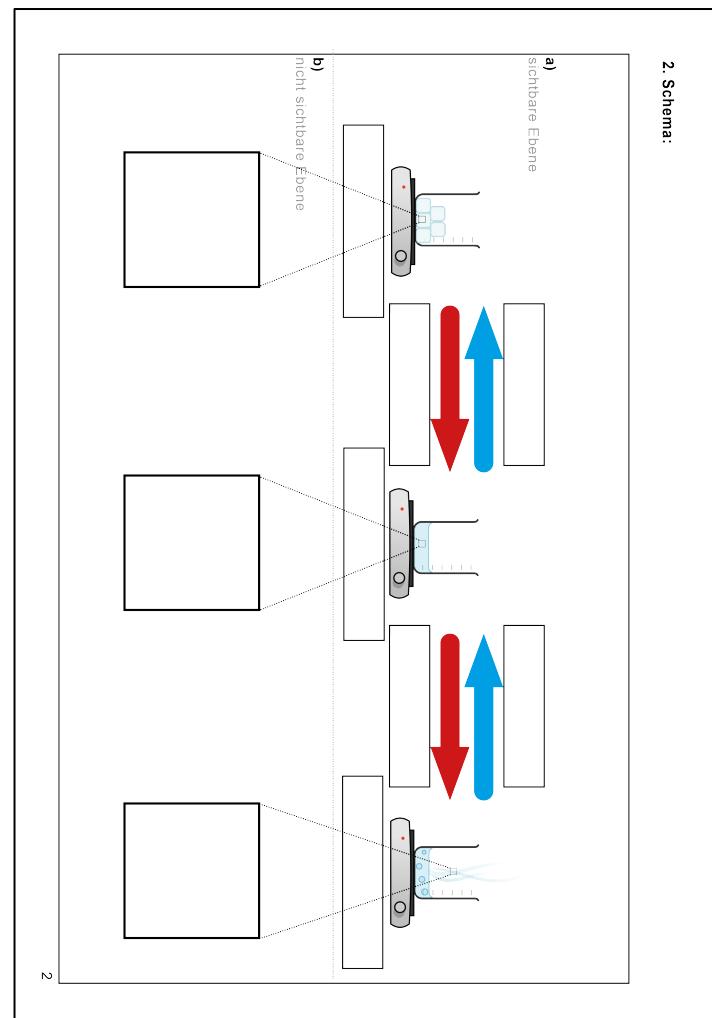


Abbildung 43: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 7: "Erhitzen von Eis"

**3 a)** Lies dir die Sätze zum Verlauf des Versuches auf der Teilchenebene durch, zeichne in die vorgeesehenen Felder die Anordnung der Teilchen ein, wie sie bei den markierten Temperaturen von Wasser vorliegen.

**b)** Zeichne in die vorgeesehenen Felder die Anordnung der Teilchen ein, wie sie bei den markierten Temperaturen von Wasser vorliegen.

(1) Bei **Temperaturen unter 0 °C** liegen die Teilchen in einem **geordneten Verband** vor.

(2) Sie haben **beste Plätze** an denen sie hin und her **schwingen**.

(3) Beim **Schmelzen** bleibt die Temperatur konstant in einem Bereich knapp über 0 °C.

(4) Die Teilchen verlassen **nacheinander** den geordneten Verband.

(5) Dabei steigt die **kinetische Energie** der Teilchen **siegt**.

(6) Erst wenn **alle Teilchen ungeordnet** vorliegen steigt die Temperatur des Stoffes an.

(7) Die **Temperatur des flüssigen Wassers** steigt **stetig** an.

(8) Die Teilchen bewegen sich in ihrer ungeordneten Anordnung immer **schneller**.

(9) Bei der Bewegung **gleiten** Sie aneinander vorbei.

(10) Beim **Verdampfen** bleibt die Temperatur konstant in einem Bereich von ca. 100 °C.

(11) Die Teilchen verlassen **nacheinander** die ungeordnete Anordnung.

(12) Sie verteilen sich in dem **ganzem** ihnen zur Verfügung stehenden **Raum**.

In der Tabelle befinden sich Informationen zur energetischen und nicht sichtbaren Ebene des Versuches „Erhitzen von Eis“.

energetische Ebene	nicht sichtbare Ebene	Merkmale der Teilchen			
		Absstoßungs- Kräfte	Anziehungs- Kräfte	Abstände der Teilchen zueinander	
<b>Eis</b>	Die Temperatur des Eises steigt auf ca. 0 °C.	Die Teilchen schwingen an einer Stelle.	sehr schwach	sehr stark	sehr eng
<b>schmelzendes Eis</b>	Die Temperatur bleibt für einige Zeit (ca. 2,5 Minuten) konstant auf ca. 0 °C.	Die Teilchen bewegen sich immer schneller. Die Teilchen verlassen nacheinander den geordneten Verband und liegen ungeordnet vor.	schwach	stark	eng, gleiten aneinander
<b>flüssiges Wasser</b>	Die Temperatur steigt ca. 100 Minuten bis sie ca. 100 °C erreicht.	Die Teilchen bewegen sich immer schneller.	gering	gering	eng, gleiten aneinander
<b>siedendes Wasser</b>	Die Temperatur bleibt konstant auf ca. 100 °C.	Die Teilchen bewegen sich sehr schnell.	stark	schwach	eng, gleiten aneinander
<b>Wasserdampf</b>	Die Temperatur beträgt ca. 100 °C	Die Teilchen nehmen den ganzen Raum ein.	sehr stark	sehr schwach	weit auseinander

Temperatur-Zeit-Diagramm: „Erhitzen von Eiswürfeln“

θ in °C

t in Minuten

nicht sichtbare Ebene

4

100 °C

24 °C

-3 °C

Abbildung 44: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 7: "Erhitzen von Eis"

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Aufgabe 1</b>	<i>Zeitverlauf, Video, Wortfeld, Satzanfänge, Antwortsätze, grafische Übersicht</i>
<b>Aufgabe 2</b>	<i>Magnetkugeln und Aquaperlen, AR, Zuordnungskarten, Teillösung</i>
<b>Aufgabe 3</b>	<i>AR, Zuordnungskarten, Teillösung</i>

Tabelle 14: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 7: "Erhitzen von Eis"

Im Folgenden sollen *alle* Unterstützungsmaßnahmen zu Aufgabe 1 und 2 vorgestellt werden, sowie die *AR-Sequenz* zu Aufgabe 3. Es wird darauf verzichtet, wiederholende Unterstützungsangebote zu beschreiben. Das vollständige Material zu diesem Versuch ist im Anhang zu finden.

#### 4.1.1 Beobachtung (Aufgabe 1)

Um den Vorgang des Versuchs erneut nachzuvollziehen, steht allen Schüler:innen auf dem Arbeitsblatt eine ikonische Abstraktion des Versuchsablaufs zur Verfügung (siehe Abbildung 43 und Abbildung 16). Die Schüler:innen sind dazu aufgefordert, in die Tabelle von Aufgabe 1 die richtigen Aggregatzustände des Wassers zu den jeweiligen Temperaturbereichen einzutragen (siehe Abbildung 45).

**1. Ordne den Temperaturen die richtigen Aggregatzustände zu.**

Temperatur	Aggregatzustand des Wassers
kleiner als oder gleich ( $\leq$ ) 0 °C	
zwischen 0 °C - 100 °C	
größer als oder gleich ( $\geq$ ) 100 °C	

Abbildung 45: Tabelle zur Zuordnung der Aggregatzustände zu den Temperaturen

Um diese Aufgabe zu lösen, stehen den Schüler:innen unterschiedliche Unterstützungsangebote zur Verfügung, aus denen sie wählen können.

#### 4.1.1.1 Zeitverlauf mit Temperaturgrafik

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

Tabelle 15: Einordnung des Zeitverlaufs in die dreidimensionale Planungshilfe

Aufgrund dessen, dass der Versuch bereits durchgeführt wurde, können die Schüler:innen eine Abbildung mit den unterschiedlichen Stadien des Wassers vor und während des Erhitzens nutzen (siehe Abbildung 46).

## Zeitverlauf

**Nutze die Abbildungen zur Beschreibung.**



Temperatur 

Abbildung 46: Zeitverlauf von fest über flüssig zu Gasförmig der Komponente Wasser

Die Schüler:innen erkennen anhand des abgebildeten Temperaturpfeils, dass bei einer erhöhten Temperatur andere Aggregatzustände vorliegen. Mithilfe der Abbildung können sie die Aggregatzustände des Wassers zu seinen unterschiedlichen Zeitpunkten beschreiben und den entsprechenden Temperaturen zuordnen.

Eine weitere Variante stellt die Videografie des Versuchs dar.

#### 4.1.1.2 Video

Ebene <b>Planungshilfe</b>	dreidimensionale	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche Ebene
gestufte Unterstützung		schwerer Impuls

Tabelle 16: Einordnung von Videos in die dreidimensionale Planungshilfe

Diese Form wird als schwerer Impuls eingeordnet und stellt eine Steigerung zu den Realfotografien dar, da die Handlungsabläufe und die Beobachtungen besser nachvollzogen werden können.

Hinweis für die Erstellung: Bei der Erstellung der Videos sollte man sich vor allem an die von Schmidkunz entwickelten und vorgeschlagenen Gesetzmäßigkeiten der Visualisierung und Wahrnehmung [108, S. 360] halten, um so die kognitive Belastung für die Schüler:innen gering zu halten und die Aufmerksamkeit auf die Schwerpunkte des Versuchs zu richten.

Gesetz ...	Kurzbeschreibung
<b>der Dynamik von links nach rechts</b>	Durchführung, Bilderabfolgen entsprechen der europäischen Leserichtung
<b>der Symmetrie</b>	Übersichtliche Anordnung des Versuchsaufbaus
<b>der Einfachheit</b>	Nur relevante Chemikalien und Geräte sollen abgebildet werden. Es können von vornherein alle Chemikalien übersichtlich gezeigt werden. Für die Durchführung empfiehlt es sich nur die jeweils relevanten Chemikalien und Geräte im Bild zu verwenden.
<b>der Gleichartigkeit</b>	Um den Geräten nicht die gleiche Funktion zuzuweisen, sollten unterschiedliche Funktionen durch anders aussehende Geräte genutzt werden, z.B. zum Abmessen einer Flüssigkeit ein Messzylinder verwenden und kein zweites Becherglas.
<b>der Nähe</b>	Räumliche Trennung der Geräte, ohne eine Zusammengehörigkeit zu suggerieren, die nicht beabsichtigt ist.
<b>des Figur-Hintergrund-Kontrastes</b>	Abhebung von hervorzuhebenden Elementen, z.B. Nachweis von Kohlenstoffdioxid mit Kalkwasser durch einen schwarzen Hintergrund. In der Aufnahme von Bildern und Videos ist eine „Fotobox“ mit austauschbaren Hintergründen zu empfehlen.

<b>der glatt durchlaufenden Kurve</b>	Apparaturen waage- oder senkrecht aufzubauen, um eine Asymmetrie zu vermeiden.
<b>der objektiven Einstellung</b>	Geräte nicht für andere Funktionen zweckentfremden, da die Schüler:innen ein Gerät mit einer speziellen Funktion assoziieren.

Tabelle 17: Gesetzmäßigkeiten der Visualisierung und Wahrnehmung nach [108, S. 360]

Zusätzlich erfolgen in der Vorbereitung der Filmaufnahme und der Bearbeitung des Filmmaterials weiter Schritte. Für die Planung der Aufnahme wird für den Versuch ein „Storyboard“ erstellt, an das sich die filmende Person hält, in dem die Handlungsschritte klar geschildert sind. Des Weiteren enthält es apparatur- und kamerabezogene Hinweise für den Aufbau, der Ausrichtung der Kamera, Belichtung (z.B. Drei-Punkt-Beleuchtung) sowie der Durchführung des Versuchs. Neben der Videospur kann auch die Tonspur bearbeitet werden, um unerwünschte Geräusche, durch die Anwendung von programmspezifischen Filtern, zu entfernen. Es kann auch die Tonspur vollständig entfernt werden, allerdings untermauert der Ton die Authentizität des Films. Außerdem sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, einen störungsfreien Raum zu nutzen sowie hinter der Kamera kaum Bewegungen zuzulassen, da diese sich in den sauberen Geräten spiegeln können.

In diesem Beispiel wurde auf die Tonspur verzichtet, da der Heizprozess keine Geräusche von sich gibt. Zur Hervorhebung des zunächst weißen und festen Wassers (Eis) zu Beginn des Versuchs wurde ein schwarzer Hintergrund verwendet. Grundsätzlich arbeitet der Experimentator von links nach rechts. Da hier allerdings keine Handlungen oder Eingriffe notwendig sind, ist der Experimentator während der Aufnahme hinter der Kamera.

Die Schüler:innen haben Zugang zu der Filmaufnahme durch diverse digitale Medien. So kann z.B. an einer Station ein Endgerät platziert sein, an dem das Video angesehen werden kann oder die Schüler:innen scannen den QR-Code und öffnen das Video über die Plattform „YouTube“.

## Video I

**Scanne den QR-Code.**

**Sieh dir die Aggregatzustandsänderungen von Wasser an.**



Abbildung 47: QR-Code mit Anweisung für das Video zum Erhitzen von Eis



Abbildung 48: Videoausschnitt "Erhitzen von Eis"

Da es besonders um die Beachtung der Schmelz- und Siedetemperatur geht und sie der Frage auf den Grund gehen sollen, warum die Temperaturen während des Schmelzens und Verdampfens konstant bleiben, steht den Schüler:innen ein weiteres Video zur Verfügung, bei dem zusätzlich die parallel verlaufende Temperaturerhöhung eingeblendet ist. Im Zuge der Digitalisierung und der Entwicklung neuer Bluetooth-Sensoren ist es möglich, eine Bildschirmaufnahme, beispielsweise eines Tablets aufzunehmen, auf das die gemessenen Werte übertragen werden. Mit einem Abstand von zwei Sekunden werden die Werte dargestellt. Dabei ist ein etwas abweichender Temperaturverlauf in dem Sinne zu erkennen, dass die Temperatur mal etwas mehr steigt oder sinkt. Dies wurde aufgrund der Authentizität so beibehalten, dass der Prozess nicht in jedem Fall hundertprozentig eintrifft. Dennoch ist die Tendenz wie im Idealfall vorhanden.

In der nachfolgenden Abbildung befindet sich ein Bildausschnitt des Videos und der für die Schüler:innen zu nutzende Zugang mit weiteren Beobachtungshinweisen für die vorangestellte Aufgabe der Beobachtung auf dem Arbeitsblatt.

## Video II

**Scanne den QR-Code.**



**Sieh dir das Video an.  
Beschreibe bei welchen  
Temperaturen Wasser die Aggregatzustände  
fest, flüssig und gasförmig Wasser hat.**

Abbildung 49: QR-Code mit Anweisung Video: „Erhitzen von Eis“ mit Temperaturverlauf

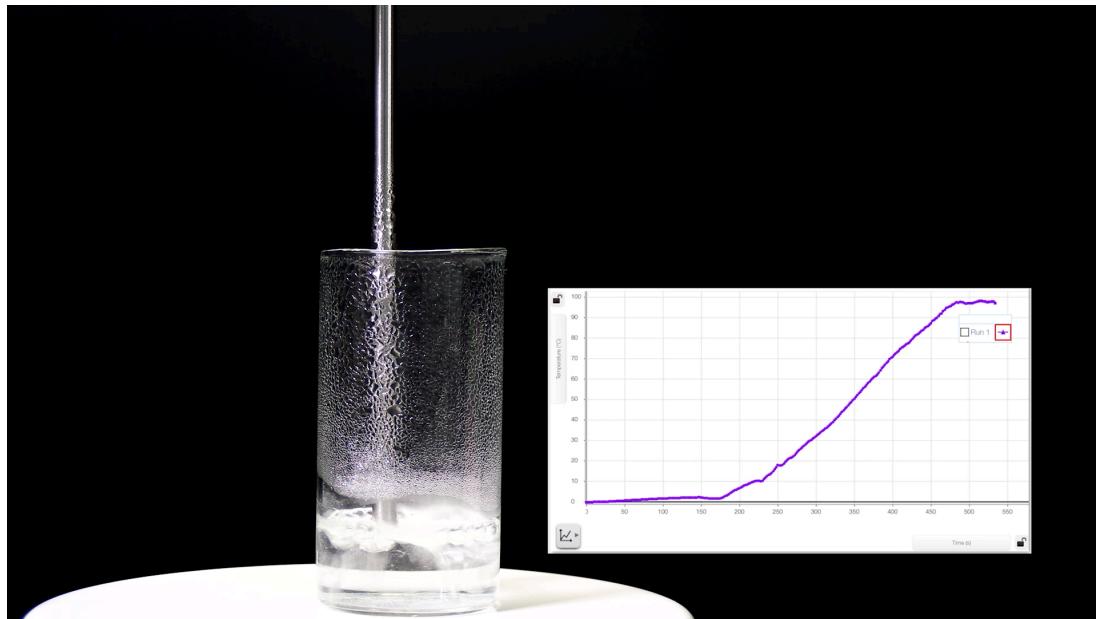


Abbildung 50: Bildausschnitt „Erhitzen von Eis“ mit Temperaturverlauf

Mithilfe des Videos können die Schüler:innen den Versuch mehrmals ansehen und den Film zu bestimmten Stellen vor- oder zurückspulen. Dadurch könne sie zu der jeweils ihnen bedeutenden Stelle Aussagen zu den Aggregatzuständen des Wassers und der Schmelz- und Siedetemperatur formulieren.

### 4.1.1.3 Wortfelder

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		verbale Ebene
gestufte Unterstützung		schwerer Impuls

Tabelle 18: Einordnung von Wortfeldern in die dreidimensionale Planungshilfe

Diese Methode zur Sprachförderung weist ungeordnete Fachbegriffe auf. Wagner und Voß analysierten die Quantität von Fach- und Grundbegriffen im Chemieunterricht, wobei sie 7700 Fachbegriffe und 108 Grundbegriffe herausarbeiteten [109, S. 30]. Unter Betrachtung der Lernschwierigkeiten bei Schüler:innen und der Auseinandersetzung der Begrifflichkeiten im Chemieunterricht bedarf es vor allem in der Sprachförderung ein abwechslungsreiches Angebot an sprachbildenden Maßnahmen. Eine dieser Maßnahmen stellen Wortfelder dar. Sie haben den Zweck, die Fachsprache und das fachliche Denken zu üben sowie Fachtexte zu formulieren. Sie sollen den Schüler:innen einen Impuls geben, sich an bereits bekannte Begriffe zu erinnern. In der mündlichen Interaktion können sie darüber hinaus Ankerhilfen sein, die das Sprechen unterstützen [110, S. 20].

Das in Abbildung 51 dargestellte Wortfeld enthält zunächst drei Aggregatzustände, die zur Formulierung der Beschreibung der Beobachtung verwendet werden können. Im weiteren Verlauf der Konzeption und des voranschreitenden Unterrichts werden die Wortfelder insoweit komplexer, dass sie mehr Begriffe enthalten. Innerhalb der dreidimensionalen Planungshilfe stellen Wortfelder einen leichten Impuls dar, da sie keine Satzstruktur vorgeben, sondern die Schüler:innen auffordern, selbstständig eine fachliche Äußerung zu konstruieren. Darunter befindet sich darüber hinaus ein QR-Code zu dem Wortfeld, um es den Lernenden neben der analogen Form auch digital zur Verfügung zu stellen.

## Wortfeld

**Formuliere mit den Begriffen die Beobachtung.**

**Wortfeld:**

**fest, flüssig, gasförmig**



## Wortfeld

**Scanne den QR-Code.**

**Formuliere mit den Begriffen die Beobachtung.**

Abbildung 51: Wortfeld zur Beobachtung zum Erhitzen von Kerzenwachs

Dabei wird insbesondere der Förderschwerpunkt *Sehen* berücksichtigt, da hier eine Vergrößerung der Darstellung möglich ist. Für diese Form werden mithilfe

der webbasierten Applikation „Adobe Express“ die Begriffe auf einer eigenen Website dargestellt. Öffnen die Anwender:innen die Website durch Scannen des QR-Codes, erscheint zunächst die Titelschrift „Wortfeld“. Scrollen die Anwender:innen nach unten, werden die Begriffe angezeigt (siehe Abbildung 52).

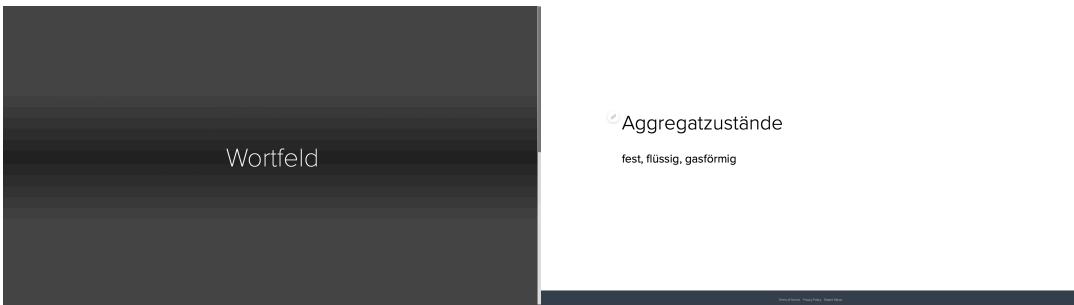


Abbildung 52: Website zum Wortfeld, li. Titelschrift, re. Begriffssammlung

Ebenso lassen sich die Begriffe mit vorinstallierten Programmen auf Tablets und Smartphones vorlesen.

#### 4.1.1.4 Satzanfänge

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		verbale Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

Tabelle 19: Einordnung von Satzanfängen in die dreidimensionale Planungshilfe

Als zweiten Impuls für die verbale Ebene der Beobachtung des Erhitzens von Wasser stehen den Schüler:innen die Satzanfänge zur Verfügung. Dabei müssen noch die Stoffeigenschaften, der Aggregatzustand und die Farbe ergänzt werden. Die Satzanfänge stellen Formulierungshilfen dar und können mit den Wortfeldern kombiniert werden. In diesem Beispiel enthält das Wortfeld die anzuwendenden Begriffe für die einzusetzenden Aggregatzustände und Farben. Eine weitere Kombinationsmöglichkeit besteht in der Zuhilfenahme des Zeitverlaufes und des Videos des Versuchs sowie der Interaktion mit der Lehrperson.

## Satzanfänge

**Formuliere mit Hilfe der Satzanfänge die richtigen Aussagen.**

Aggregatzustand des Wasser
Das Wasser ist ... (Aggregatzustand).
Das Wasser ist ... (Aggregatzustand).
Das Wasser ist ... (Aggregatzustand).

Abbildung 53: Beispiel für Satzanfänge

### 4.1.1.5 Zuordnen der Antwortsätze

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		verbale Ebene
gestufte Unterstützung		schwerer Impuls

Tabelle 20: Einordnung von Antwortsätzen in die dreidimensionale Planungshilfe

Diese Methode ist innerhalb der dreidimensionalen Planungshilfe der stärkste Impuls zur Beschreibung der Beobachtung auf verbaler Ebene und enthält ungeordnet die fachlich richtigen Sätze. Diese können nonverbal dem Arbeitsblatt zugeordnet und vor der Notierung auf dieses mit der Lehrperson besprochen bzw. mit der Musterlösung verglichen werden. Auch können Schüler:innen die Zuordnung unter sich diskutieren, sich auf eine Lösung einigen und anschließend mit der Lehrperson oder mit der Musterlösung ihre Ergebnisse vergleichen. Die Zuordnung der Antwortsätze ist eine stark gesteuerte Sprachförderung und bedarf von den Lernenden den gedanklichen Prozess der richtigen Zuweisung. Diese ist abhängig von einer richtigen, fachlichen Begründung.

## Antwortsätze

**Ordne die Sätze den richtigen Stellen auf deinem Arbeitsblatt zu.**

Das Wasser ist flüssig.

Das Wasser ist gasförmig. (Wasserdampf)

Das Wasser ist fest. (Eis)

Abbildung 54: ungeordnete Antwortsätze

Eine weitere Übersicht, die den Schüler:innen zur Verfügung gestellt werden kann, um mit Ihnen die Aggregatzustände des Wassers und den entsprechenden Temperaturbereichen zu besprechen, ist in Abbildung 55 dargestellt. An dieser Stelle geht die Lehrkraft die Lösung mit den Schüler:innen durch. Innerhalb dieser direkten verbalen Ebene eines Gespräches kann durch Zeigen und mithilfe des Unterstützungsangebotes die Lösung der Aufgabe zusammen formuliert werden.

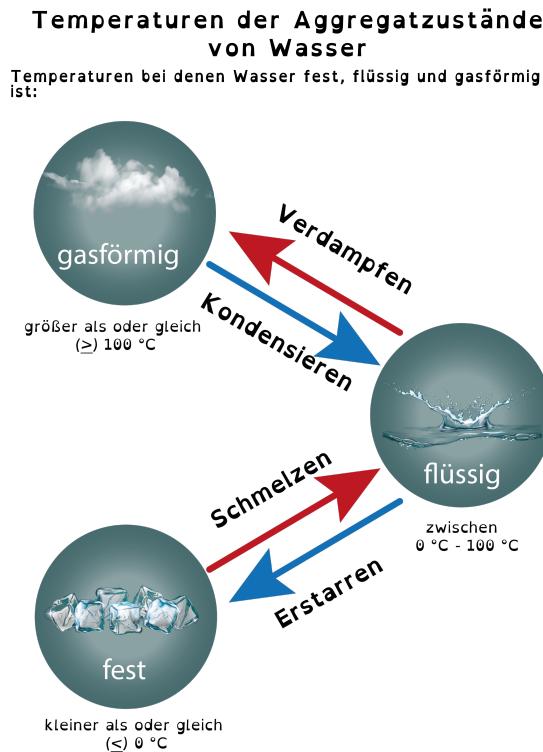


Abbildung 55: Übersicht zu den Temperaturbereichen von Wasser

Die nächsten Aufgaben widmen sich der Verknüpfung des Phänomens mit der Erklärung auf der submikroskopischen Ebene.

#### 4.1.2 Auswertung (Aufgabe 2 und 3)

Die nachfolgende Auswertungsaufgabe auf dem Arbeitsblatt ist dem Komplexitätsgrad *linearer Kausalität* der dreidimensionalen Planungshilfe zuzuordnen. Die Auswertungsaufgabe des Versuchs ist es, die Beobachtung auf der Teilchenebene zu deuten.

##### **Deutung des Versuches mit dem Teilchenmodell**

2. **Deute** deine Beobachtungen zu dem Versuch mit der Teilchenvorstellung.  
**Ergänze** dazu das Schema.

**Trage bei a)** die Aggregatzustände und die Aggregatzustandsänderungen des Wassers **ein**.

**Zeichne bei b)** die Teilchen ein.

**Hinweis:** Beachte dafür die **rundliche Form** der Teilchen und die **unterschiedliche Anordnung** im festen, flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand.

Abbildung 56: Erhitzen von Eis Aufgabe 2

Dazu steht den Schüler:innen das Schema in Abbildung 57 zur Verfügung.

2. Schema:

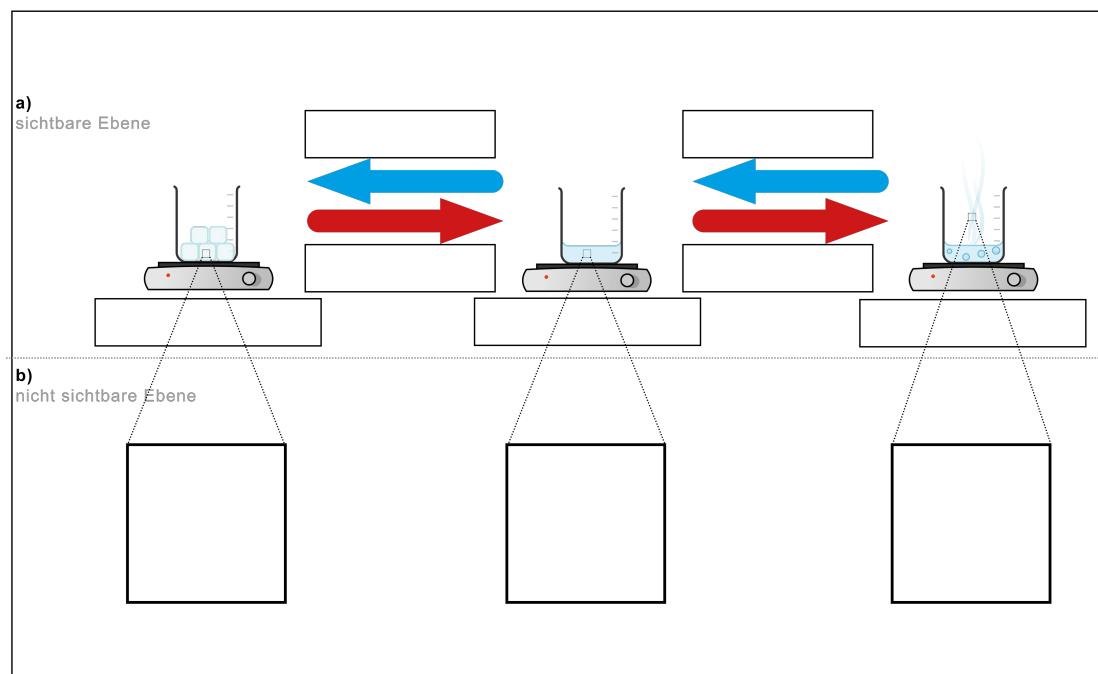


Abbildung 57: Auswertungsschema

Für die Interpretation sollen die Schüler:innen auf der „*sichtbaren Ebene*“ die Aggregatzustände des Wassers eintragen sowie die einzelnen Prozesse der Phasenumwandlung. Auf der „*nicht sichtbaren Ebene*“ sind die Schüler:innen

dazu aufgefordert, die Teilchen der jeweiligen Aggregatzustände des Wassers einzuzeichnen.

Betrachtet man die 3D-Planungshilfe, so ist die Auswertung im Bereich der linearen Kausalität einzuordnen, da die Beobachtungen mithilfe des Teilchenmodells interpretiert werden müssen. Für diese Ursache-Wirkungs-Kette kann die Aufgabe von Modellen mit den Schüler:innen wiederholt besprochen werden, damit Stoffeigenschaften der makroskopischen Ebene nicht auf die submikroskopischen und der symbolischen Ebene übertragen werden und so eine klare Abgrenzung stattfindet. Besonders im naturwissenschaftlichen Unterricht ist die Arbeit mit Modellen zur Aneignung von Wissen unablässig.

#### 4.1.2.1 Visualisierung von Teilchen mit Magnetkugeln und Aquaperlen

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale	Einordnung
Komplexitätsgrad		lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		gegenständliche Ebene
gestufte Unterstützung		leichter Impuls

Tabelle 21: Einordnung von konkreten Modellen in die dreidimensionale Planungshilfe

Für die Darstellung der Anordnung der Teilchen in den verschiedenen Aggregatzuständen können Magnetkugeln und Aquaperlen fungieren. In der Abbildung 58 sind die Aggregatzustände eines Stoffes modellhaft auf der submikroskopischen Ebene dargestellt. Dazu werden für den festen Aggregatzustand werden Magnetkugeln verwendet. Durch den Magnetismus halten diese Kugeln aneinander, können jedoch durch Kraftaufwand verschoben werden. Der flüssige Aggregatzustand ist mit der äquivalenten Menge an Aquaperlen<sup>16</sup> in der gleichen Farbe vergebenständlicht, wie auch der gasförmige Aggregatzustand. Die Anordnung der Teilchen im flüssigen Aggregatzustand lässt zu, dass die Teilchen ungeordnet vorliegen und verschiebbar sind. Die Darstellung des gasförmigen Aggregatzustandes ist so gewählt, dass die Zwischenräume mit farblosen Aquaperlen ausgefüllt sind. Durch die Hinzugabe von Wasser sind die farblosen Aquaperlen kaum sichtbar und es entsteht der Eindruck, dass zwischen den schwarzen Aquaperlen nichts ist und diese frei schweben.

<sup>16</sup> Idee nach Schäfer zur Darstellung von Luft im Teilchenmodell [111].



**Abbildung 58:** Aggregatzustände dargestellt im Teilchenmodell mit Magneten (li.) und Aquaperlen (mi. u. re.)

Diese Variante kann für die Interpretation genutzt werden und bietet eine klare Abgrenzung zu einer bildlichen Darstellung. Die Teilchen des festen und flüssigen Aggregatzustandes können von den Schüler:innen bewegt werden, das bietet den Vorteil der Interaktion mit dem Modell und wendet die nach Leisen klassifizierte gegenständliche Ebene an. Das gilt nicht für den gasförmigen Aggregatzustand, dieser bleibt statisch. Dabei können die Übergänge der Aggregatzustandsänderung auf Teilchenebene nicht fließend nachvollzogen werden und stellen damit eine erhöhte geistige Herausforderung dar, diesen Sachverhalt zu verstehen. Eine Möglichkeit der Unterstützung, innerhalb dieses Lernsettings für alle Schüler:innen, ist die Anwendung von AR<sup>17</sup>-Animationen, um diese Übergänge darzustellen.

#### 4.1.2.2 Visualisierung der submikroskopischen Ebene mit AR

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Einordnung
Komplexitätsgrad	lineare Kausalität
Abstraktionsgrad	symbolische Ebene
gestufte Unterstützung	leichter Impuls

**Tabelle 22:** Einordnung von AR in die dreidimensionale Planungshilfe

Um sich auch die Übergänge zwischen den Aggregatzuständen besser aneignen zu können, steht den Schüler:innen eine AR-Animationen zur Verfügung (Abbildung 59), die mit dem Programm „Aero“ von Adobe erstellt wurde. Bei

<sup>17</sup> Augmented Reality

der Darstellung der Teilchen in der Animation handelt es sich nicht um die Abbildung eines bestimmten Stoffs. Sie zeigt den allgemeinen Ablauf einer Aggregatzustandsänderung auf der submikroskopischen Ebene von fest über flüssig zu gasförmig. Durch die nicht genaue Identifizierung des Stoffs kann sie für alle genutzt werden. Dabei schwingen die Teilchen im festen Aggregatzustand und erfahren durch kontinuierliche Zugabe von thermischer Energie (die nicht gezeigt wird) eine Erhöhung der Enthalpie. Der Übergang zum flüssigen Aggregatzustand des Stoffs wird durch das Verlassen der Teilchen aus der geordneten Struktur symbolisiert, da die Anziehungskräfte sinken und sich die Abstände vergrößern. Im nächsten Teil der Animation wird demonstriert, wie sich die Teilchen immer schneller bewegen, bis sie schließlich, aufgrund geringer Anziehungskräfte, die Flüssigkeit verlassen und sich im gasförmigen Zustand befinden. Die Teilchen zeigen dabei eine ungerichtete Bewegung, ihre Anziehungskräfte zu anderen Teilchen sind kaum vorhanden, während die Abstände zueinander groß sind.

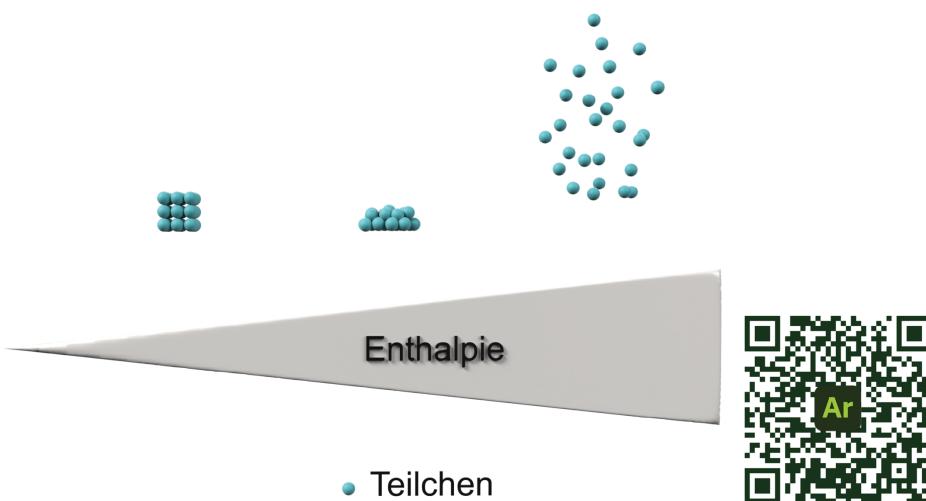


Abbildung 59: Übersicht zur Anordnung der Teilchen

Die Anwendung von AR-Animationen im Unterricht zeigte nach einer Untersuchung von Probst, Fetzter, Lukas und Huwer (2022), dass die AR- und Tablet-Gruppe deutlich signifikantere Lerneffekte aufwies als die Kontrollgruppe [112, S. 6].

Mithilfe geeigneter AR-Anwendungen können virtuelle mit realen Objekten verknüpft und so Phänomene erfahrbar gemacht werden, die in der realen Welt nicht möglich wären (z. B. Teilchenbewegungen und Ablauf chemischer Reaktionen auf submikroskopischer Ebene). Somit können Schülerfehlvorstellungen korrigiert und Lernschwierigkeiten verringert werden [10,16]. Aufgrund der Entwicklung und des Einsatzes AR-erweiterter Unterrichtsmaterialien wird der Übergang von einem lehrer:innengesteuerten

hin zu einem schüler:innenorientierten Lernen ermöglicht. Wichtig dabei ist, dass der Lerninhalt für den Lernenden sinnvoll ist und der Lernprozess pädagogisch wertvoll gestaltet wird. Es gilt also das Alter, die Fähigkeiten und Vorkenntnisse der Lernenden zu berücksichtigen, um den logischen Aufbau des Themas mit AR-Anwendungen zu unterstützen [113]. Damit sich Lernergebnisse und das Verständnis des Unterrichtsgegenstandes maßgeblich vom Einsatz analoger Lernmaterialien unterscheiden, muss der AR-Einsatz immer ergänzend und nicht ersetzend sein [114]. AR kann als ein mögliches Konzept für den Unterricht betrachtet werden und nicht nur als eine Art von Technologie [115].

Da es trotz der AR-Anwendung Unsicherheiten in der Anwendung der Fachsprache gibt, können die Schüler:innen Kärtchen für das Schema verwenden.

#### 4.1.2.3 Kärtchen

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		verbale, symbolische Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

**Tabelle 23: Einordnung von Kärtchen in die dreidimensionale Planungshilfe**

Die in Abbildung 60 visualisierten Kärtchen dienen den Schüler:innen zur aktiven Darstellung ihrer Gedankengänge. Durch das Hin- und Herschieben der einzelnen Karten können Meinungsbilder erfasst und über ihre Richtigkeit diskutiert werden.

## Kärtchen

**Ordne die Begriffe und Abbildungen dem Schema zu.**

**Zeige deiner Lehrkraft deine Lösung.**

**Trage/Zeichne die Antworten ein.**

Kondensieren	Wasser fest (Eis)		
Erstarren	Wasser flüssig		
Verdampfen	Wasser gasförmig (Wasserdampf)		
Schmelzen			

Abbildung 60: Kärtchen zum Ausfüllen des Schemas

Die Lehrkraft kann den Schüler:innen diese Karten mehrfach ausgeschnitten zur Verfügung stellen oder diese laminieren, ausschneiden und öfter wiederverwenden. Die Lösung sollte dann schriftlich festgehalten werden.

### 4.1.2.4 Teillösung

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		verbale, symbolische Ebene
gestufte Unterstützung		schwerer Impuls

Tabelle 24: Einordnung von Teillösungen in die dreidimensionale Planungshilfe

Als weitere Hilfe kann den Schüler:innen für diese Lernsituation eine Teillösung angeboten werden, die mithilfe der oben beschriebenen Kärtchen weiter ausgefüllt werden kann. Diese Unterstützung gilt als zusätzlicher Impuls zur Zuordnung der einzelnen Karten und lenkt die Schüler:innen bei der Lösung. Dabei ist jeweils ein Prozess der Phasenumwandlung, eine Stoffbezeichnung und eine Abbildung der Teilchen in der Anordnung des gasförmigen Aggregatzustands.

## Teillösung

**Vervollständige die Abbildung auf deinem Arbeitsblatt.**

Kommst du auf die restlichen Lösungen?

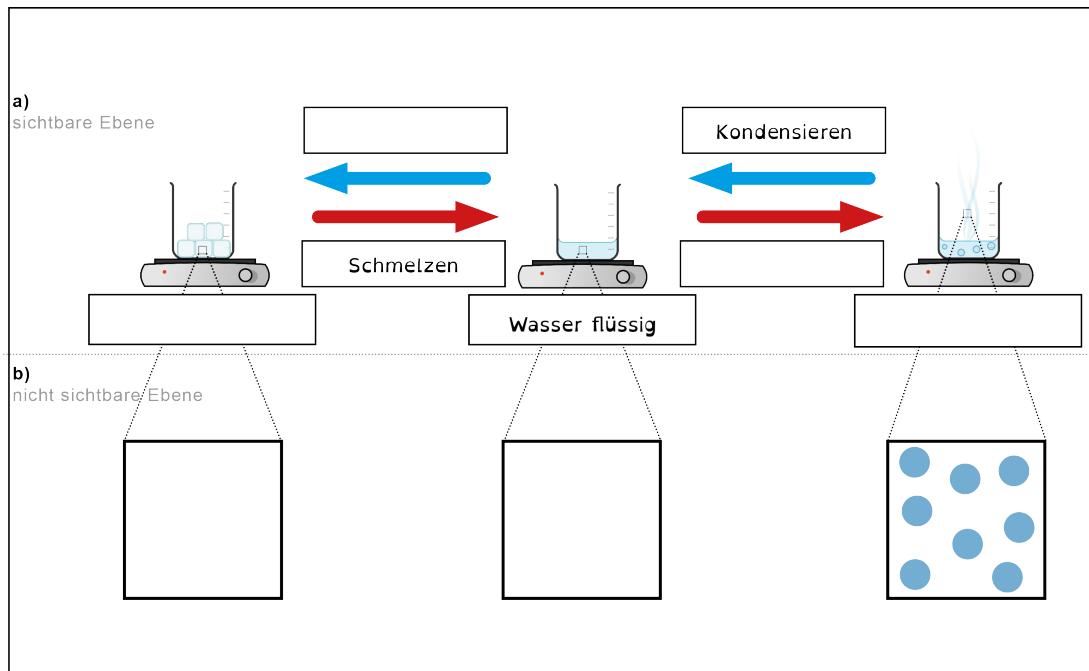


Abbildung 61: Teillösung des Schemas

Ungeklärt jedoch bleibt die Begründung, warum sich die Anordnung der Teilchen verändert. Für diese Fragestellung ist zunächst eine Vermittlung der modellhaften Vorstellung vorgesehen und notwendig. Dazu muss die Lehrkraft einen entsprechenden Lehrvortrag vorbereiten, um die folgenden Merkmale zu vermitteln:

„Zwischen den kleinen Teilchen herrschen **Anziehungs-** und **Abstoßungskräfte**, die stark vom **Abstand** und vom **Stoff** abhängig sind.“

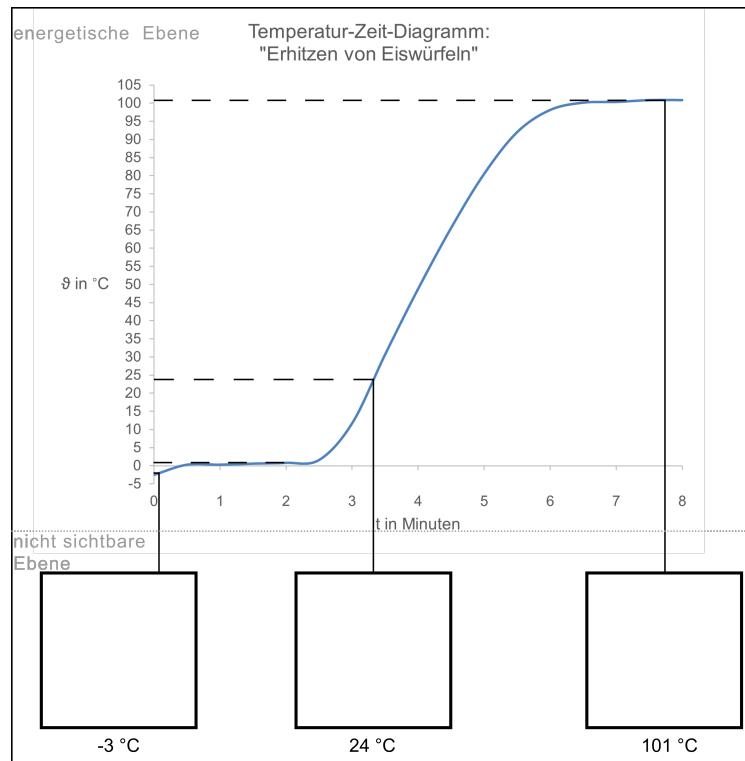
Den Schüler:innen steht zu den vermittelnden Inhalten die Übersicht in Abbildung 62 zur Verfügung. Dabei liegt der Fokus auf der Verknüpfung der Vorgänge, auf der energetischen und der submikroskopischen Ebene (nicht sichtbare Ebene).

In der Tabelle befinden sich Informationen zur energetischen und nicht sichtbaren Ebene des Versuches „Erhitzen von Eis“.

	energetische Ebene	nicht sichtbare Ebene	Merkmale der Teilchen		
			Abstoßungs-kräfte	Anziehungs-kräfte	Abstände der Teilchen zueinander
Eis	Die Temperatur des Eises steigt auf ca. 0 °C.	Die Teilchen schwingen an einer Stelle.	sehr schwach	sehr stark	sehr eng
schmelzendes Eis	Die Temperatur bleibt für einige Zeit (ca 2,5 Minuten) konstant auf ca. 0 °C.	Die Teilchen bewegen sich immer schneller. Die Teilchen verlassen nacheinander den geordneten Verband und liegen ungeordnet vor.	schwach	stark	eng, gleiten aneinander
flüssiges Wasser	Die Temperatur steigt ca. 4 Minuten bis sie ca. 100 °C erreicht.	Die Teilchen bewegen sich immer schneller.	gering	gering	eng, gleiten aneinander
siedendes Wasser	Die Temperatur bleibt konstant auf ca. 100 °C.	Die Teilchen bewegen sich sehr schnell.	stark	schwach	eng, gleiten aneinander
Wasserdampf	Die Temperatur beträgt ca. 100 °C.	Die Teilchen nehmen den ganzen ihnen zur Verfügung stehenden Raum ein.	sehr stark	sehr schwach	weit auseinander

Abbildung 62: Übersicht zur energetischen und submikroskopischen Ebene

Um nun zu verstehen, wie diese beiden Ebenen zusammenwirken, sollen die Schüler:innen Sätze zu den Vorgängen lesen und anschließend die Teilchen in die vorhergesehenen Felder einzeichnen. Diese Aufgabe stellt innerhalb der dreidimensionalen Planungshilfe die **wechselseitige Kausalität** des Komplexitätsgrades dar, da die energetische Ebene eine weitere Variable innerhalb des Phänomens darstellt.



**Abbildung 63:** Aufgabenstellung zur Verknüpfung der energetischen mit der submikroskopischen Ebene

Da sich die Lösung der Aufgabe ausschließlich auf das Leseverständnis bezieht, wurden die Sätze des Textes so einfach wie möglich formuliert und in einzelne Prozesse unterteilt. Dabei wurde sich nur auf die Anordnung der Teilchen konzentriert, da die Anziehungs- und Abstoßungskräfte in der Übersicht zu finden sind und nicht visualisiert werden können. Um diesen Prozess bildlich darzustellen, soll auf der symbolischen Ebene dieser abstrakte Teil zu unterschiedlichen Temperaturen des Diagramms eingezeichnet werden.

Damit die Schüler:innen diesen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang verstehen, erhalten sie als Unterstützungsangebot Kärtchen, eine Teillösung sowie eine weitere AR-Sequenz zur Verfügung (siehe Anhang).

#### 4.1.2.5 Verknüpfung energetische und submikroskopischer Ebene mit AR

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		symbolische Ebene
gestufte Unterstützung		leichter Impuls

**Tabelle 25:** Einordnung von AR-Sequenzen in die dreidimensionale Planungshilfe

Diese AR-Sequenz (siehe Abbildung 64) unterscheidet sich von der bereits in 4.1.2.2 dargestellten Sequenz insoweit, dass neben der Anordnung der Teilchen des Wassers parallel die Erhöhung der Temperatur eingebettet wird. Die in dem Moment zutreffende Temperatur des Stoffes wird durch ein Rechteck hervorgehoben und entspricht dem Temperaturverlauf wie in Versuch 7.:

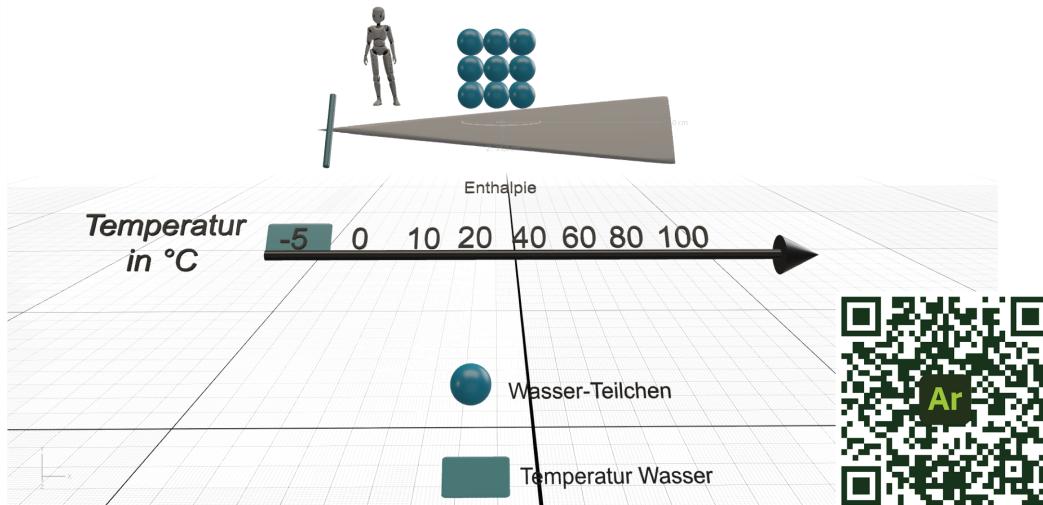


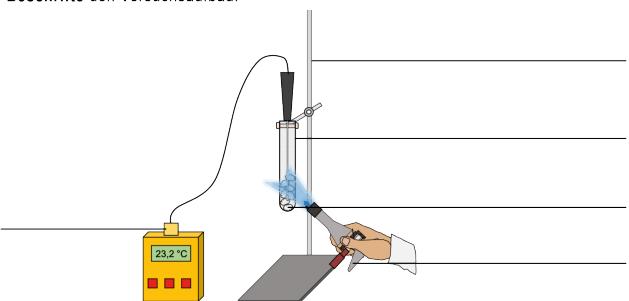
Abbildung 64: AR-Animation zu Wasser

Die Animation enthält viele fachliche Details. Demzufolge erscheint zunächst ein Avatar (links neben den Teilchen), der die einzelnen Bestandteile erklärt. Nachdem die Einführung abgeschlossen ist, wird der Avatar ausgeblendet und die Teilchen beginnen sich zu bewegen. Zudem wird eine kontinuierliche Zunahme der Temperatur angezeigt durch die Hervorhebung dargestellt, die sich bei der Temperaturskala von links nach rechts bewegt. Außerdem wird die Progression der Teilchenbewegung in Kombination mit der Teilchenbewegung durch einen Gradienten angezeigt, wobei ein Balken sich von links nach rechts bewegt.

Nachdem diese Grundlage zu dem undifferenzierten Teilchenmodell gelegt ist, schließt sich die Durchführung der weiteren Versuche aus dem Konzept an, nachfolgend mit dem Erhitzen von Kerzenwachs.

#### 4.2 Differenzierung Versuch 14: „Erhitzen von Kerzenwachs“

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 65 und Abbildung 66 sowie im Anhang):

Name:	Klasse:	Datum:														
Thema: Teilchenmodell																
<b>„Erhitzen von Kerzenwachs“</b>																
<b>Aufgabe:</b> <b>Beobachte</b> , was passiert, wenn Kerzenwachs in einem Reagenzglas mit einem Brenner erhitzt wird.																
<b>1. Vorbereitung:</b> Beschrifte den Versuchsaufbau. 																
<b>2. Durchführung:</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schritt</th> <th>Durchführung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.1</td> <td>Die Temperatur des Kerzenwachs wird mit dem Thermometer gemessen. <b>Notiere</b> die Temperatur.</td> </tr> <tr> <td>2.2</td> <td>Der Brenner wird in Betrieb genommen. Eine rauschende Flamme wird eingestellt.</td> </tr> <tr> <td>2.3</td> <td>Das Kerzenwachs wird mit dem Brenner erhitzt, bis es zu schmelzen beginnt.</td> </tr> <tr> <td>2.4</td> <td>Die Temperatur des Kerzenwachs wird mit dem Thermometer gemessen. <b>Notiere</b> die Schmelztemperatur.</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>Das Kerzenwachs wird mit dem Brenner weiter erhitzt, bis es zu sieden beginnt.</td> </tr> <tr> <td>2.6</td> <td>Die Temperatur des Kerzenwachs wird mit dem Thermometer gemessen. <b>Notiere</b> die Siedetemperatur.</td> </tr> </tbody> </table>			Schritt	Durchführung	2.1	Die Temperatur des Kerzenwachs wird mit dem Thermometer gemessen. <b>Notiere</b> die Temperatur.	2.2	Der Brenner wird in Betrieb genommen. Eine rauschende Flamme wird eingestellt.	2.3	Das Kerzenwachs wird mit dem Brenner erhitzt, bis es zu schmelzen beginnt.	2.4	Die Temperatur des Kerzenwachs wird mit dem Thermometer gemessen. <b>Notiere</b> die Schmelztemperatur.	2.5	Das Kerzenwachs wird mit dem Brenner weiter erhitzt, bis es zu sieden beginnt.	2.6	Die Temperatur des Kerzenwachs wird mit dem Thermometer gemessen. <b>Notiere</b> die Siedetemperatur.
Schritt	Durchführung															
2.1	Die Temperatur des Kerzenwachs wird mit dem Thermometer gemessen. <b>Notiere</b> die Temperatur.															
2.2	Der Brenner wird in Betrieb genommen. Eine rauschende Flamme wird eingestellt.															
2.3	Das Kerzenwachs wird mit dem Brenner erhitzt, bis es zu schmelzen beginnt.															
2.4	Die Temperatur des Kerzenwachs wird mit dem Thermometer gemessen. <b>Notiere</b> die Schmelztemperatur.															
2.5	Das Kerzenwachs wird mit dem Brenner weiter erhitzt, bis es zu sieden beginnt.															
2.6	Die Temperatur des Kerzenwachs wird mit dem Thermometer gemessen. <b>Notiere</b> die Siedetemperatur.															
1																

**3. Beobachtung:**

Beobachtung	
Temperatur	Stoffeigenschaften des Kerzenwachses
Anfangstemperatur:	2.1: _____
Schmelztemperatur:	2.4: _____
Siedetemperatur:	2.6: _____

**3.1** **Beschreibe** bei welchen Temperaturen eine Aggregatzustandsänderung des Kerzenwachses erfolgt.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**4. Auswertung:**

**4.1** Deute deine Beobachtungen zu dem Versuch mit der Teilchenvorstellung.  
Ergänze dazu das Schema.

Trage bei a) die Aggregatzustände und die Aggregatzustandsänderungen des Kerzenwachses ein.

Zeichne bei b) die Teilchen ein.

Hinweis: Beachte dafür die **rundliche Form** der Teilchen und die **unterschiedliche Anordnung** im festen, flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand.

2

Abbildung 65: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 14: "Erhitzen von Kerzenwachs"

**4. Auswertung:**

**4.1 Schema:**

a) sichtbare Ebene

b)

**4.2 Begründe, warum sich die Aggregatzustände des Kerzenwachs durch das Erhitzen ändern.**

3

**4.3 Trage die Temperaturbereiche der Aggregatzustände von Kerzenwachs und Wasser in die Tabelle ein.**

Kerzenwachs		Wasser	
Aggregatzustand	Temperatur	Aggregatzustand	Temperatur
gasförmig		gasförmig	
flüssig		flüssig	
fest		fest	

**4.4 Vergleiche die Schmelz- und Siedetemperaturen von Kerzenwachs und mit dem Schmelz- und Siedetemperaturen von Wasser.**

4

**Merke:**

Die Teilchen von **verschiedenen** Stoffen unterscheiden sich in ihrer Größe, Masse, und Anziehungskräften.

Die Teilchen von **einem** Stoffen gleichen sich in ihrer Größe, Masse und Anziehungskraft.

**4.5 Begründe mit Hilfe des Merksatzes, warum sich die Schmelz- und Siedetemperaturen von Kerzenwachs von den Schmelz- und Siedetemperaturen von Wasser so stark unterscheiden?**

Abbildung 66: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 14: "Erhitzen von Kerzenwachs"

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	<i>Versuchsaufbau: Abbildung als Fotografie und Illustration</i>
<b>Beobachtung</b>	Zeitverlauf, Video, Wortfeld, Satzanfänge, Antworten, <i>Lückentext, Satzmuster</i>
<b>Auswertung</b>	Wortfeld, AR, Zuordnungskarten, Teillösung, Satzmuster, Lückentext, grafische Übersicht

Tabelle 26: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 14: "Erhitzen von Kerzenwachs"

Im Folgenden sollen *alle* lernstrukturierenden Hilfen zur Vorbereitung vorgestellt werden. Die Unterstützungsmaßnahmen *Lückentext* und *Satzmuster* sollen für die Beobachtung des Demonstrationsexperimentes beschrieben werden. Alle anderen vorgesehenen Hilfen der Beobachtung und der Auswertung wurden bereits vorgestellt, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

#### 4.2.1 Vorbereitungen (Geräte und Chemikalien)

Zur Identifikation der Geräte und Chemikalien können die Schüler:innen eine Liste nutzen. In Bezug auf das Erhitzen des Kerzenwachses wird die Aufgabe des Stativs mit der Klemme und der Muffe von der Lehrperson soweit erklärt, dass dieses der Halterung des Reagenzglases für eine erhöhte Position dient, damit der Brenner die Außenwand des Reagenzglases erhitzen kann und diese gut erreichbar ist. Des Weiteren wird der Temperaturfühler thematisiert, der im direkten Kontakt mit dem Paraffin steht und so die aktuelle Temperatur durch die Anzeige wiedergegeben wird.

Die Schüler:innen erhalten zunächst die Aufgabe, die ikonische Darstellung der Geräte und Chemikalien zu beschriften, indem sie die jeweils genannten Fachbegriffe notieren. Auf dem Arbeitsblatt steht den Schüler:innen dazu die ikonische Darstellung des Versuchs zur Verfügung.

Schüler:innen haben oft Probleme mit der Identifikation und Zuordnung der für sie neuen Geräte und Chemikalien. Hinzu kommt, dass diese auf den Arbeitsblättern ikonisch dargestellt werden und es zwischen diesen Ebenen zu einer Transferleistung kommt. Dieser Umstand kann insbesondere für Schüler:innen mit einem Förderschwerpunkt (z. B. Autismus, Lernen, geistige Entwicklung) herausfordern sein.

Aus diesem Grund können die Schüler:innen eine Unterstützung in Anspruch nehmen.

#### 4.2.1.1 Fotografien und ikonische Abbildungen des Versuchsaufbaus

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Abbildung	Einordnung
Komplexitätsgrad		Fakten
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		leichter Impuls

Tabelle 27: Einordnung von Fotografien und Abbildungen von Versuchsaufbauten in die dreidimensionale Planungshilfe

Zur Unterstützung können die Schüler:innen auf der **bildlichen Ebene** zum einen den fotografierten Versuchsaufbau und zum anderen die ikonische Abstraktion nutzen (siehe Abbildung 67). Für die Identifikation der Geräte und Chemikalien enthält das Unterstützungsmaterial zur Vorbereitung die **verbale Ebene**. In diesem Fall sind lediglich die Geräte und Chemikalien mit vorangestellten Zahlen aufgelistet. Diese sollen den Feldern zur Identifizierung zugeordnet werden.

Abbildung 67: Versuchsaufbau Erhitzen von Kerzenwachs

Die Schüler:innen sollten stets die Möglichkeit haben, sich die Geräte und Chemikalien, insbesondere bei Demonstrationsexperimenten, ansehen zu können. Die Lehrperson kann den Schüler:innen dabei helfen, die Geräte und Chemikalien richtig zu benennen.

### 4.2.2 Beobachtung

Nachdem die Schüler:innen die Durchführung des Versuchs beobachtet haben, sollen sie ihre Beobachtung in Sätzen zusammenfassen und dabei neben den Stoffeigenschaften besonders auf die Temperaturen achten, bei denen eine Aggregatzustandsänderung stattfindet. Die Aufgabenstellung auf dem Arbeitsmaterial lautete dabei wie folgt:

„Beschreibe, bei welchen Temperaturen eine Aggregatzustandsänderung des Kerzenwachses erfolgt.“

An dieser Stelle können verschiedene Interventionsmaßnahmen auf der **verbalen Ebene** angeboten werden. Nach der Unterteilung nach leicht, mittel und starken Impulsen der gestuften Unterstützung stehen den Schüler:innen ein Wortfeld, ein Satzmuster und ein Lückentext zur Verfügung. Erstere Art

der Unterstützung wurde bereits beschrieben. Nachfolgend sollen Satzmuster und Lückentexte genauer beschrieben werden.

#### 4.2.2.1 Lückentext

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

**Tabelle 28: Einordnung von Lückentexten in die dreidimensionale Planungshilfe**

Lückentexte sind vorstrukturierte fachliche Sachtexte mit vorüberlegten didaktischen Lücken, die im logischen Kontext um die fachlich richtigen Begriffe ergänzt werden. Die Lernenden werden dabei noch enger an den fachlichen Formulierungen als bei den Satzmustern geführt. Dabei werden vor allem neue Fachbegriffe wiederholt und zu immanentem Wissen verarbeitet. Der Lückentext zur Lösung der Beobachtungsaufgabe entspricht exakt den Sätzen aus dem vorangegangenen Satzmuster, und die Schüler:innen müssen keine strukturgebenden Entscheidungen treffen, um den Sachinhalt fachlich zu beschreiben. In diesem Fall sind die aufgenommenen Temperaturen sowie die Begriffe zur entsprechenden Phasenumwandlung einzusetzen, wie sie als Wortliste über dem Lückentext stehen.

## Lückentext

**Fülle die Lücken mit den Begriffen aus.**  
(Mehrfachnennung möglich.)

**fest(es/e) - flüssig(es/e) - gasförmigen - schmelzen -  
verdampfen -**

Wird \_\_\_\_\_ Kerzenwachs erhitzt, beginnt es ab einer

Temperatur von \_\_\_\_\_ °C zu \_\_\_\_\_.

Das \_\_\_\_\_ Kerzenwachs geht in den \_\_\_\_\_

Aggregatzustand über.

Wird \_\_\_\_\_ Kerzenwachs erhitzt, beginnt es ab einer

Temperatur von \_\_\_\_\_ °C zu \_\_\_\_\_.

Das \_\_\_\_\_ Kerzenwachs geht in den \_\_\_\_\_

Aggregatzustand über.

Abbildung 68: Lückentext

Um den Schüler:innen eine noch weitere Variante zur Formulierung der Beobachtung zur Verfügung zu stellen, bieten sich Satzmuster an.

### 4.2.2.2 Satzmuster

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		schwerer Impuls

Tabelle 29: Einordnung von Satzmustern in die dreidimensionale Planungshilfe

Diese Form der verbalen Unterstützung sind Mustersätze, die zu entsprechenden fachlichen Inhalten formuliert und in abgeänderter Form auf andere Themen transferiert werden können, indem bestimmte Satzteile ausgetauscht werden. Diese Form der Unterstützung fördert zwar nicht das freie Sprechen, ist jedoch durch die starke Lenkung zur Anwendung und zum „Nachahmen“ der Fachsprache besonders wichtig und gibt den Schüler:innen eine sprachliche Sicherheit [110, S. 38]. In diesem Beispiel werden vier Sätze formuliert, die die Schmelz- und Siedetemperatur des Kerzenwachses festhalten. Die ersten beiden widmen sich der Schmelztemperatur und die

letzten beiden der Siedetemperatur des Kerzenwachses. Die Schüler:innen wählen aus den Auswahlmöglichkeiten die fachlich richtigen Sätze aus.

## Satzmuster

Formuliere mit den Satzmustern 4 Sätze.

### Satz 1

Wird festes Wird flüssiges	Kerzenwachs erhitzt, beginnt es ab einer Temperatur
-------------------------------	---

von ca. _____ °C zu schmelzen. von ca. _____ °C zu verdampfen.
---

### Satz 2

Das feste Das flüssige	Kerzenwachs geht in den	flüssigen gasförmigen
---------------------------	-------------------------	--------------------------

Aggregatzustand über.
-----------------------

### Satz 3

Wird festes Wird flüssiges	Kerzenwachs erhitzt, beginnt es ab einer Temperatur
-------------------------------	---

von ca. _____ °C zu schmelzen. von ca. _____ °C zu verdampfen.
---

### Satz 4

Das feste Das flüssige	Kerzenwachs geht in den	flüssigen gasförmigen
---------------------------	-------------------------	--------------------------

Aggregatzustand über.
-----------------------

Abbildung 69: Satzmuster

Nachdem die Schüler:innen sich intensiv mit den Aggregatzustandsänderungen und der Anordnung der Teilchen in den verschiedenen Phasen beschäftigt haben, sollen sie sich anschließend einem weiteren Merkmal widmen. Sie sollen sich mittels des nachfolgenden Versuchs das Wissen darüber erschließen, wie es zu einer Volumenkontraktion kommen kann, und dies unter Anwendung des undifferenzierten Teilchenmodells mit einem Modellversuch nachvollziehen.

#### **4.3 Differenzierung Versuch 15 „Mischen von Brennspiritus mit Wasser“ und Versuch 16 „Mischen von Erbsen mit Reis“**

Bei diesem Versuch wird auf die unterschiedliche Größe der Teilchen von Brennspiritus und Wasser eingegangen. Im Kapitel 3.5 zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells wurde bereits der fachliche Hintergrund beschrieben, dennoch soll an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen werden, dass es sich bei diesem Versuch um eine didaktische Reduktion handelt, um die Größenunterschiede von Teilchen darzustellen.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 70Abbildung 71 sowie im Anhang):

Name:	Klasse:	Datum:										
<b>Thema: Teilchenmodell</b>												
<b>„Mischen von Brennspiritus mit Wasser“</b>												
<p><b>Aufgabe:</b>  <b>Beobachte</b>, was passiert, wenn 50 mL Brennspiritus und 50 mL Wasser miteinander vermischt werden.</p>												
<p><b>Demonstrationsversuch</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Durchführung</th> <th>Beobachtung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>In eine Spritze werden 50 mL Brennspiritus gefüllt.</td> <td><b>Stoffeigenschaften Brennspiritus:</b></td> </tr> <tr> <td>In eine andere Spritze werden 50 mL Wasser gefüllt.</td> <td><b>Stoffeigenschaften Wasser:</b></td> </tr> <tr> <td>Der Brennspiritus wird langsam zu dem Wasser gegeben, ohne sich zu vermischen. <b>Notiere das Gesamtvolumen</b></td> <td><b>Gesamtvolumen:</b></td> </tr> <tr> <td>Beide Flüssigkeiten werden miteinander vermischt. <b>Notiere das Gesamtvolumen.</b></td> <td><b>Gesamtvolumen:</b></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Vergleiche</b> das Gesamtvolumen <b>vor</b> und <b>nach</b> dem Vermischen.</p> <hr/> <p><b>Auswertung</b></p> <p>Um das Beobachtete erklären zu können, brauchen wir das Teilchenmodell. Als Hilfe führen wir einen Modellversuch durch. Die Erbsen sind die Symbole für die Brennspiritus-Teilchen. Die Reiskörner sind die Symbole für die Wasser-Teilchen.</p>			Durchführung	Beobachtung	In eine Spritze werden 50 mL Brennspiritus gefüllt.	<b>Stoffeigenschaften Brennspiritus:</b>	In eine andere Spritze werden 50 mL Wasser gefüllt.	<b>Stoffeigenschaften Wasser:</b>	Der Brennspiritus wird langsam zu dem Wasser gegeben, ohne sich zu vermischen. <b>Notiere das Gesamtvolumen</b>	<b>Gesamtvolumen:</b>	Beide Flüssigkeiten werden miteinander vermischt. <b>Notiere das Gesamtvolumen.</b>	<b>Gesamtvolumen:</b>
Durchführung	Beobachtung											
In eine Spritze werden 50 mL Brennspiritus gefüllt.	<b>Stoffeigenschaften Brennspiritus:</b>											
In eine andere Spritze werden 50 mL Wasser gefüllt.	<b>Stoffeigenschaften Wasser:</b>											
Der Brennspiritus wird langsam zu dem Wasser gegeben, ohne sich zu vermischen. <b>Notiere das Gesamtvolumen</b>	<b>Gesamtvolumen:</b>											
Beide Flüssigkeiten werden miteinander vermischt. <b>Notiere das Gesamtvolumen.</b>	<b>Gesamtvolumen:</b>											

**„Mischen von Brennspiritus mit Wasser“**

<p><b>Aufgabe:</b>  <b>Beobachte</b>, was passiert, wenn 50 mL Erbsen und 50 mL Reis miteinander vermischt werden.</p>											
<p><b>1. Vorbereitung:</b>  <b>Stelle</b> dir alle benötigten Materialien auf deinen Arbeitsplatz.</p>											
<p><b>Geräte:</b></p> <table border="1"> <tr> <td>2 100-mL-Spritzen</td> <td>Glasstab</td> </tr> <tr> <td>Becherglas</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Chemikalien</b></td> </tr> <tr> <td>Erbsen</td> <td>Reis</td> </tr> </table>		2 100-mL-Spritzen	Glasstab	Becherglas		<b>Chemikalien</b>		Erbsen	Reis		
2 100-mL-Spritzen	Glasstab										
Becherglas											
<b>Chemikalien</b>											
Erbsen	Reis										
<p><b>2. Durchführung:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schritt</th> <th>Durchführung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.1</td> <td>Fülle in eine Spritze 50 mL Erbsen.</td> </tr> <tr> <td>2.2</td> <td>Fülle in eine andere Spritze 50 mL Reis.</td> </tr> <tr> <td>2.3</td> <td>Füll den Reis zu den Erbsen. <b>Notiere das Gesamtvolumen.</b></td> </tr> <tr> <td>2.4</td> <td>Vermische den Reis mit den Erbsen. <b>Notiere das Gesamtvolumen.</b></td> </tr> </tbody> </table>		Schritt	Durchführung	2.1	Fülle in eine Spritze 50 mL Erbsen.	2.2	Fülle in eine andere Spritze 50 mL Reis.	2.3	Füll den Reis zu den Erbsen. <b>Notiere das Gesamtvolumen.</b>	2.4	Vermische den Reis mit den Erbsen. <b>Notiere das Gesamtvolumen.</b>
Schritt	Durchführung										
2.1	Fülle in eine Spritze 50 mL Erbsen.										
2.2	Fülle in eine andere Spritze 50 mL Reis.										
2.3	Füll den Reis zu den Erbsen. <b>Notiere das Gesamtvolumen.</b>										
2.4	Vermische den Reis mit den Erbsen. <b>Notiere das Gesamtvolumen.</b>										
<p><b>3. Beobachtung:</b></p> <hr/> <p>Gesamtvolumen <b>vor</b> dem Mischen:</p> <hr/> <p>Gesamtvolumen <b>nach</b> dem Mischen:</p> <hr/> <p><b>Vergleiche</b> das Gesamtvolumen <b>vor</b> und <b>nach</b> dem Vermischen.</p> <hr/> <hr/>											

Abbildung 70: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 15: "Mischen von Brennspiritus mit Wasser" und 16 „Mischen von Erbsen mit Reis“

**4. Auswertung:**

- a) Erkläre mit dem Merkmal **Größe** des Teilchenmodells, warum sich das Volumen des Erbsen-Reiskorn-Gemisches verändert hat.

---

---

---

---

- b) Erkläre die Beobachtung bei dem Demonstrationsexperiment mit deinen Erkenntnissen aus dem Modellversuch.

Abbildung 71: Arbeitsblatt S. 3 zum Versuch 15: "Mischen von Brennspiritus mit Wasser" und 16 „Mischen von Erbsen mit Reis“

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Beobachtung</b>	Versuchsaufbau, Zeitverlauf, Video, Wortfeld, Satzmuster
<b>Auswertung im Modellversuch</b>	
<b>Vorbereitung Modellversuch</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung Modellversuch</b>	<i>Anleitung in einfacher Sprache, mit Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung</i>
<b>Beobachtung Modellversuch</b>	Satzmuster
<b>Auswertung Modellversuch</b>	Wortfeld, Satzmuster

Tabelle 30: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 15: "Mischen von Brennspiritus mit Wasser" und 16 „Mischen von Erbsen mit Reis“

Im Folgenden sollen *alle* lernstrukturierenden Hilfen zur Durchführung des ModellVersuchs vorgestellt werden. Die Unterstützungsmaßnahmen für die Beobachtung des Demonstrationsexperimentes, der Vorbereitung, der Beobachtung und der Auswertung des ModellVersuchs wurden bereits vorgestellt, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

#### 4.3.1 Durchführung Modellversuch

Für die Durchführung steht den Schüler:innen eine allgemeine Durchführungsanleitung zur Verfügung, der sie zu folgen haben. Bei der Durchführung von Versuchen kann es aufgrund von diversen Gründen zu Komplikationen und Missverständnissen bei Schüler:innen, z.B. mit dem Förderschwerpunkt sozial-emotionale Entwicklungsstörung kommen (z.B. Anleitung nicht verstanden, andere Handlungen mit Geräten und Chemikalien durchführen, Überforderung).

Des Weiteren kann eine Überforderung durch die Durchführungsschritte auch bei Förderschwerpunkten wie Lernen, geistige Entwicklung, Autismus-Spektrum-Störung und Sprache kommen. Die Schüler:innen sind dazu aufgefordert, einem meist bereits strukturierten Text in Form von einer Abfolge

Handlungsschritte zu entnehmen und nach diesen vorzugehen. Um so viele Verständnisschwierigkeiten wie möglich zu vermeiden, wird den Schüler:innen eine Anleitung angeboten, die sie auf so vielen Zugängen wie möglich unterstützt.

#### 4.3.1.1 Differenzierung von Durchführungen

Ebene <b>Planungshilfe</b>	dreidimensionale	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		leichter Impuls

**Tabelle 31: Einordnung differenzierter Versuchsdurchführungen in die dreidimensionale Planungshilfe**

Eine Maßnahme ist die Vereinfachung der Durchführungsschritte. Dabei enthält ein Schritt nur eine Information in einem Satz. Des Weiteren wird die Schriftart „OpenDyslexic<sup>18</sup>“ verwendet, um dem Förderschwerpunkt Sprache weiter gerecht zu werden. Außerdem sind rechts neben den Durchführungsschritten eine Abbildung des jeweiligen Schrittes eingefügt. Auch hierbei wird den Schüler:innen die Realdarstellung (siehe Abbildung 72) angeboten, wie auch die ikonische Abstraktion (siehe Abbildung 73).

---

<sup>18</sup> OpenDyslexic ist eine Schriftart, die gegen einige häufige Symptome der Legasthenie entwickelt wurde.

**Modellversuch Durchführung**

Schritt	Durchführung	
2.1	Fülle in die eine Spritze 50 mL Erbsen.	
2.2	Fülle in die andere Spritze 50 mL Reis.	
2.3	Füll den Reis zu den Erbsen.	
2.4	Notiere das Gesamtvolumen.	
2.5	Vermische den Reis mit den Erbsen. Nutze dazu den Glasstab oder das große Becherglas. Anstelle des Glasstabes kannst Du einen Stift verwenden.	
2.6	Notiere das Gesamtvolumen.	

**Modellversuch Durchführung**

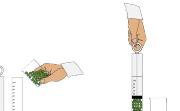
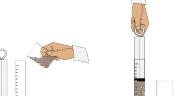
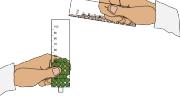
Schritt	Durchführung	
2.1	Fülle in die eine Spritze 50 mL Erbsen.	
2.2	Fülle in die andere Spritze 50 mL Reis.	
2.3	Füll den Reis zu den Erbsen.	
2.4	Notiere das Gesamtvolumen.	
2.5	Vermische den Reis mit den Erbsen. Nutze dazu den Glasstab oder das große Becherglas. Anstelle des Glasstabes kannst du einen Stift verwenden.	
2.6	Notiere das Gesamtvolumen.	

Abbildung 72: Durchführung Mischen von Reis mit Erbsen sprachsensibel mit Fotografien

Abbildung 73: Durchführung Mischen von Reis mit Erbsen sprachsensibel mit bildlicher Darstellung

Ein weiterer Punkt der Unterstützung liegt in der Digitalität.

#### 4.3.1.2 QR-Codes

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer-schwerer Impuls

Tabelle 32: Einordnung von QR-Codes in die dreidimensionale Planungshilfe

Dieser Aspekt wird sich zunutze gemacht, um unter anderem dem Förderschwerpunkt Sehen eine Unterstützung in der Durchführung zu geben. Dabei ist das Anliegen wie bei den Wortfeldern, die bereits beschrieben wurden. Ähnlich zu diesen ist die Durchführung digital auf einer Website abgelegt und kann über den QR-Code aufgerufen werden, um sich die Schritte in vergrößerter Form ansehen zu können oder über ein Vorleseprogramm die Informationen abzurufen.

## QR-Codes

Scanne den QR-Code.

Digitale Anleitung	Videoanleitung
Hier findest du eine Anleitung zu dem Versuch mit Bildern.  	Hier findest du eine Videoanleitung zu dem Versuch.  

Abbildung 74: QR-Codes zur Durchführung des Modellversuchs "Mischen von Erbsen mit Reis"

Eine weitere noch stärkere Unterstützung für die Lernenden ist, dass sie sich die Durchführung in einem Video ansehen und nachvollziehen können, wie sie vorzugehen haben. Dazu müssen sie den rechten QR-Code scannen. Mit dieser Variante ist es für die Schüler:innen noch verständlicher, wie die Schrittfolge

des Versuchs auszusehen hat. Bei den Videos zur Durchführung von Versuchen wurde darauf geachtet, keine Beobachtung vorwegzunehmen.

In der Versuchsreihe zur Einführung der Merkmale des undifferenzierten Teilchenmodells wurden im vorherigen Versuch zwei flüssige Komponenten miteinander vermischt. In dem anschließenden Versuch vermischen die Schüler:innen Zucker als Feststoff mit Wasser als Flüssigkeit und trennen das Gemisch anschließend wieder. Diesen Vorgang deuten alle Lernenden mit dem undifferenzierten Teilchenmodell und können dazu die nachfolgenden beschriebenen Unterstützungsangebote nutzen.

#### **4.4 Differenzierung Versuch 17: „Lösen und Auskristallisieren von Zucker“**

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 75 und Abbildung 76 sowie im Anhang):

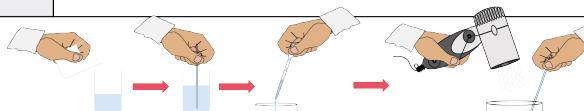
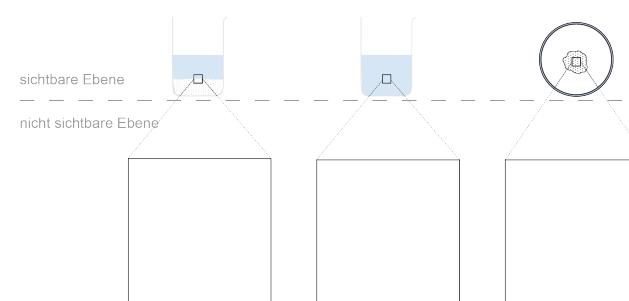
<p>Name: _____ Klasse: _____ Datum: _____</p> <p><b>Thema:</b> Teilchenmodell <b>„Lösen und Auskristallisieren von Zucker“</b></p> <p><b>Aufgabe:</b> Finde heraus, was passiert, wenn Zucker in Wasser gelöst und die Zuckerlösung anschließend mit einem Föhn erhitzt wird.</p> <p><b>1. Vorbereitung:</b> Stelle dir alle benötigten Materialien auf deinen Arbeitsplatz.</p> <p><b>Geräte:</b></p> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">2 Bechergläser</td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><input type="checkbox"/> Glasstab</td> </tr> <tr> <td>Petrischale</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Föhn</td> </tr> <tr> <td>Pipette</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Wasserkocher</td> </tr> <tr> <td>Spatel</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p><b>Chemikalien:</b></p> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Zucker</td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><input type="checkbox"/> Wasser</td> </tr> </table> <p><b>2. Durchführung:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Schritt</th> <th style="width: 90%;">Durchführung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.1</td> <td>Füll in ein Becherglas mit 50 mL heißem Wasser 75 mL Zucker.</td> </tr> <tr> <td>2.2</td> <td>Rühre die Lösung mit einem Glasstab, bis sich der Zucker vollständig gelöst hat.</td> </tr> <tr> <td>2.3</td> <td>Gib mit Hilfe der Pipette 1 mL der Zuckerlösung auf die Petrischale.</td> </tr> <tr> <td>2.4</td> <td>Verteile die Lösung mit dem Glasstab auf der Petrischale.</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>Erhitze die Zuckerlösung mit Hilfe des Föhns, bis das Wasser verdunstet ist.</td> </tr> <tr> <td>2.6</td> <td>Notiere deine Beobachtung.</td> </tr> </tbody> </table>  <p style="text-align: center;">1</p>	2 Bechergläser	<input type="checkbox"/> Glasstab	Petrischale	<input type="checkbox"/> Föhn	Pipette	<input type="checkbox"/> Wasserkocher	Spatel	<input type="checkbox"/>	Zucker	<input type="checkbox"/> Wasser	Schritt	Durchführung	2.1	Füll in ein Becherglas mit 50 mL heißem Wasser 75 mL Zucker.	2.2	Rühre die Lösung mit einem Glasstab, bis sich der Zucker vollständig gelöst hat.	2.3	Gib mit Hilfe der Pipette 1 mL der Zuckerlösung auf die Petrischale.	2.4	Verteile die Lösung mit dem Glasstab auf der Petrischale.	2.5	Erhitze die Zuckerlösung mit Hilfe des Föhns, bis das Wasser verdunstet ist.	2.6	Notiere deine Beobachtung.	<p><b>3. Beobachtung:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Schritt</th> <th style="width: 90%;">Beobachtung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">2.2 Herstellen der Zuckerlösung</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">2.5 Auskristallisieren der Zuckerlösung</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>4. Auswertung:</b> Deute deine Beobachtungen zu dem Versuch mit der Teilchenvorstellung. Ergänze dazu das Schema.</p> <p>a) Trage die Teilchen zu den Schritten 2.1 vor dem Lösen, 2.2 nach dem Lösen und 2.4 nach dem Erhitzen ein.</p> <table border="1" style="margin-bottom: 10px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;"><input type="radio"/> Wasser-Teilchen</td> <td style="width: 15%; text-align: center;"><input type="radio"/> Zucker-Teilchen</td> </tr> </table>  <p style="text-align: right;">2</p>	Schritt	Beobachtung	2.2 Herstellen der Zuckerlösung					2.5 Auskristallisieren der Zuckerlösung			<input type="radio"/> Wasser-Teilchen	<input type="radio"/> Zucker-Teilchen
2 Bechergläser	<input type="checkbox"/> Glasstab																																				
Petrischale	<input type="checkbox"/> Föhn																																				
Pipette	<input type="checkbox"/> Wasserkocher																																				
Spatel	<input type="checkbox"/>																																				
Zucker	<input type="checkbox"/> Wasser																																				
Schritt	Durchführung																																				
2.1	Füll in ein Becherglas mit 50 mL heißem Wasser 75 mL Zucker.																																				
2.2	Rühre die Lösung mit einem Glasstab, bis sich der Zucker vollständig gelöst hat.																																				
2.3	Gib mit Hilfe der Pipette 1 mL der Zuckerlösung auf die Petrischale.																																				
2.4	Verteile die Lösung mit dem Glasstab auf der Petrischale.																																				
2.5	Erhitze die Zuckerlösung mit Hilfe des Föhns, bis das Wasser verdunstet ist.																																				
2.6	Notiere deine Beobachtung.																																				
Schritt	Beobachtung																																				
2.2 Herstellen der Zuckerlösung																																					
2.5 Auskristallisieren der Zuckerlösung																																					
<input type="radio"/> Wasser-Teilchen	<input type="radio"/> Zucker-Teilchen																																				

Abbildung 75: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 17: „Lösen und Auskristallisieren von Zucker“

**Informationskasten:** Warum ist die Zuckerlösung nicht weiß?

Liegen mehrere Zuckerkristalle zusammen vor, wie in dem Becherglas mit Haushaltszucker, so erscheint der Zucker weiß.

In der Abbildung sind Zuckerkristalle dargestellt.  
Es ist zu erkennen, dass diese nicht durchgängig weiß, sondern teilweise farblos sind.  
Aufgrund von Lufteinschlüssen oder Kratzer an der Oberfläche ist die Struktur des Kristalls gestört.  
Deshalb sind manche Zuckerkristalle teilweise leicht weiß.  
Zuckerkristalle sind ohne Lufteinschlüsse oder Kratzer farblos.



**Merke:**

Der Zucker ist sichtbar, wenn viele Zucker-Teilchen zusammen in einem Verband vorliegen.

Der Zucker ist nicht sichtbar, wenn alle Zucker-Teilchen einzeln zwischen den Wasser-Teilchen verteilt sind.

b) Bewerte die folgende Aussage mit Hilfe des Teilchenmodells und den Erkenntnissen aus dem Versuch.

**Ein Schüler behauptet:**  
„Wenn ich Zucker in Wasser gebe, existiert dieser nicht mehr, weil er danach nicht mehr zu sehen ist.“

**Hinweise:** Beim Föhnen entstehen Temperaturen von ca. 110 °C. Zucker schmilzt bei einer Temperatur von 135 °C. Wasser verdampft bei einer Temperatur von 100 °C.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3

Abbildung 76: Arbeitsblatt S. 3 zum Versuch 17: „Lösen und Auskristallisieren von Zucker“

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung</b>	Anleitung in einfacher Sprache, mit Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	Wortfeld, <i>Beobachtungshinweise</i> , Satzmuster, Zeitverlauf, Video
<b>Auswertung</b>	<i>Hinweise zum Zeichnen (Abbildung mit Fotografien)</i> , Zuordnungskarten, Teillösung, Wortfeld, <i>Wortgeländer</i> , Satzmuster, <i>Filmleiste mit Lückentext (Fotografien)</i> , <i>Filmleiste mit Lückentext (Illustration)</i>

Tabelle 33: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 17: „Lösen und Auskristallisieren von Zucker“

Im Folgenden sollen für die Beobachtung die ***Beobachtungshinweise*** als Unterstützungsmaßnahme vorgestellt werden. Außerdem werden die ***Hinweise zum Zeichnen (Abbildung mit Fotografien)*** sowie die unterschiedlichen ***Filmleisten mit Lückentext*** beschrieben. Die anderen aufgeführten Hilfen des Unterstützungsangebotes wurden zu anderen Versuchen bereits beschrieben, sodass für die Umsetzung auf den Anhang verwiesen wird.

#### 4.4.1 Beobachtung

Die visuelle Wahrnehmung des Versuchs schreiben die Schüler:innen auf das ihnen ausgehändigte Arbeitsblatt. Um sie bei dieser Handlung zu fördern, stehen mehrere Unterstützungsangebote zur Verfügung. In Bezug auf die dreidimensionale Planungshilfe entspricht die Beobachtung der Prozessbeschreibung. Auf dieser Ebene erhalten die Schüler:innen unterschiedliche Zugänge über die Abstraktionsgrade und den gestuften

Impulsen. Auf der gegenständlichen Ebene können die Schüler:innen zunächst das durchgeführte Experiment und ihre Erinnerungen nutzen sowie ihre Lehrkraft konsultieren. Außerdem können sie einen Zeitverlauf und ein Video nutzen, um die Beobachtung zu notieren. Auf der verbalen Ebene können die Schüler:innen lernstrukturelle Hilfen wie ein Wortfeld als leichten Impuls nutzen. Als Ergänzung zum Wortfeld bieten sich Beobachtungshinweise als Unterstützungsmaßnahmen an.

#### 4.4.1.1 Beobachtungshinweise

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		verbale Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

Tabelle 34: Einordnung von Beobachtungshinweisen in die dreidimensionale Planungshilfe

Beobachtungshinweise dienen als strukturelle Formulierungshilfe, indem den Schüler:innen Impulse gegeben werden, die sie mit dem Wortfeld kombinieren können. Die Beobachtungshinweise lenken die Schüler:innen zur notwendigen Formulierung, schränken sie in der Kreativität des Schreibens nicht zu stark ein. Sie ermutigen die Schüler:innen, die Beobachtungen richtig notieren zu können. In der Abbildung 77 ist ein Beispiel für diesen Versuch dargestellt. Sie enthält Aufforderungen, wie vorzugehen ist, um die Beobachtung schriftlich zu verbalisieren.

## Beobachtungshinweise

Schritt	Beobachtung
2.2 Herstellen der Zuckerlösung	<b>Beschreibe die Stoffeigenschaften von Zucker.</b>
	<b>Beschreibe die Stoffeigenschaften von Wasser.</b>
	<b>Beschreibe die Stoffeigenschaften der Zuckerlösung.</b>
2.5 Auskristallisieren der Zuckerlösung	<b>Beschreibe die Stoffeigenschaften nach dem Erhitzen.</b>

Abbildung 77: Beobachtungshinweise zum Lösen und Auskristallisieren von Zucker

Dazu werden die Stoffe, die während des Versuchs verwendet werden und entstehen, aufgeführt. Die Aufforderung bezieht sich vor allem auf die notwendigen Stoffeigenschaften, die für den Versuch relevant sind. Mit diesem mittleren Impuls sollen die Schüler:innen selbstständig die Beobachtung formulieren. Falls diese Art der Unterstützung den Schüler:innen nicht ausreicht, können sie auf ein Satzmuster zurückgreifen. Außerdem steht ihnen ein Video des Versuchs zur Verfügung, welches den ganzen Ablauf zeigt.

Nachdem die Schüler:innen die Beobachtung des Versuchs notiert haben, widmen sie sich der Auswertung.

#### 4.4.2 Auswertung

Für die Deutung des Versuchs mit dem undifferenzierten Teilchenmodell steht den Schüler:innen in der bekannten Form ein Auswertungsschema zur Verfügung, das auszufüllen ist, indem die Anordnung der Teilchen in die Felder eingezeichnet werden soll (siehe Abbildung 78). In der oberen linken Ecke über dem Schema ist zudem eine Legende dargestellt, die die zu verwendenden Teilchenarten enthält.

##### 4. Auswertung:

**Deute** deine Beobachtungen zu dem Versuch mit der Teilchenvorstellung.  
**Ergänze** dazu das Schema.

- a) **Trage** die Teilchen zu den Schritten **2.1** vor dem Lösen, **2.2** nach dem Lösen und **2.4** nach dem Erhitzen ein.

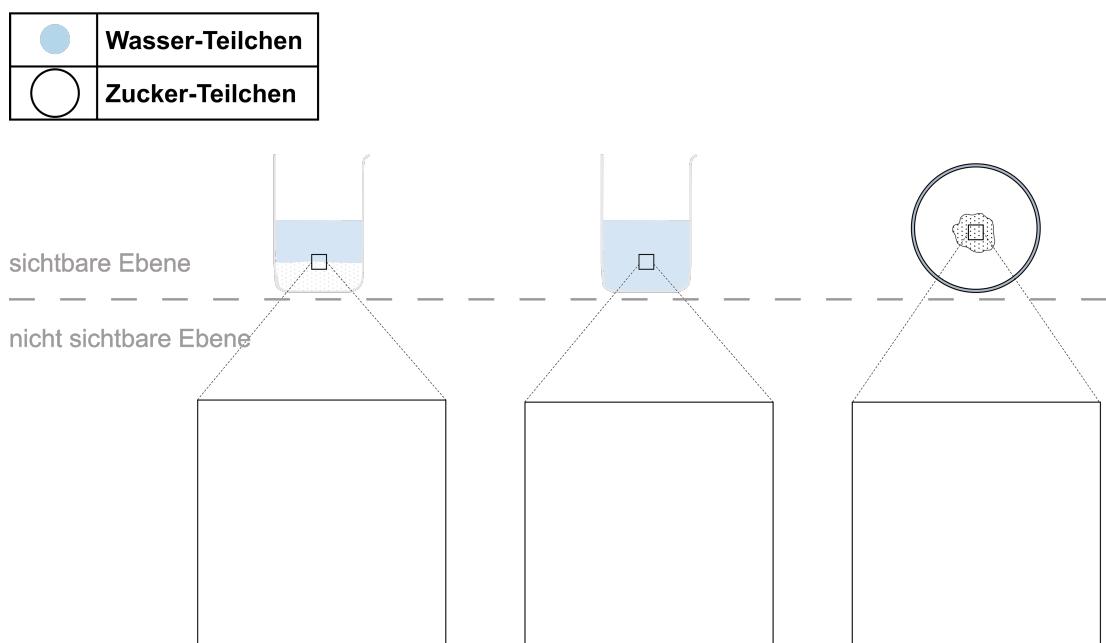


Abbildung 78: Auswertungsschema Lösen und Auskristallisieren von Zucker

Zur Lösung des Schemas stehen den Schüler:innen mehrere Unterstützungsangebote zur Verfügung. Mit Blick auf die dreidimensionale Planungshilfe sind die Optionen der Unterstützung auf der linearen Kausalität des Komplexitätsgrades vor allem auf die symbolische des Abstraktionsgrades gerichtet. Dazu zählen als mittelstarker Impuls Kärtchen mit den Lösungen, die den Feldern des Schemas zuzuordnen sind, sowie ein starker Impuls, der die Abbildung der Teillösung enthält.

Um weiter zu differenzieren und die geistige Aktivität der Schüler:innen herauszufordern, gilt es, zunächst die Deutung mithilfe einer Realabbildung zu interpretieren.

#### 4.4.2.1 Fotografie im Deutungsschema

Ebene	dreidimensionale	Einordnung
Planungshilfe		
Komplexitätsgrad		lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		bildliche Ebene
gestufte Unterstützung		leichter Impuls

Tabelle 35: Einordnung von Fotografien im Deutungsschema in die dreidimensionale Planungshilfe

Dieser leichte Impuls ist so gestaltet, dass die vergrößerten Bereiche für die nicht sichtbare Ebene auf den Fotos markiert sind und denen der ikonischen Abstraktion entsprechen (siehe Abbildung 79).

### Hinweise zum Zeichnen I

Hier ist das Schema auf der sichtbaren Ebene abgebildet.

**Zeichne die Teilchenvorstellung in das Schema auf deinem Arbeitsblatt ein.**

	Wasser-Teilchen
	Zucker-Teilchen

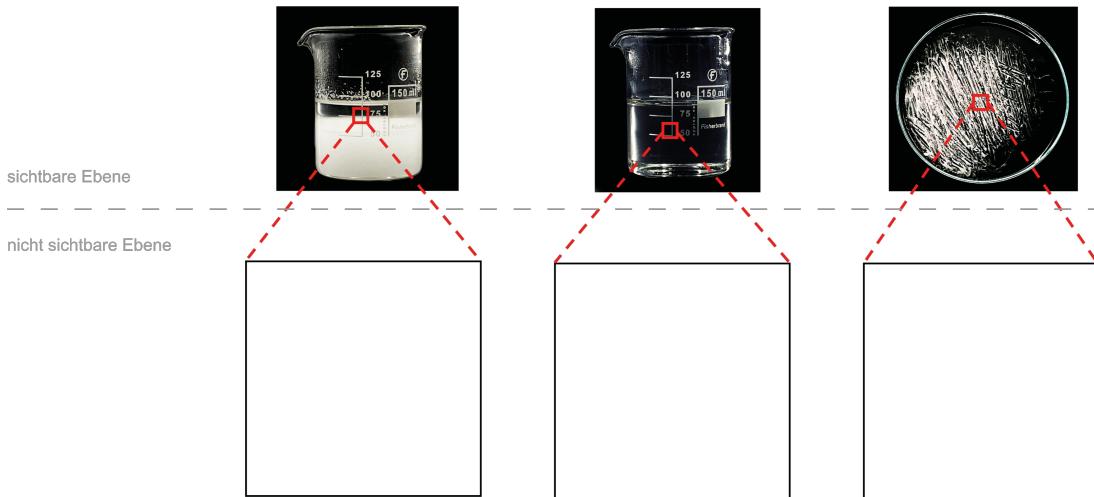


Abbildung 79: Auswertungsschema mit Realabbildungen

Im zweiten Aufgabenteil der Auswertung geht es um die Bewertung einer Aussage eines Schülers:

„Wenn ich Zucker in Wasser gebe, existiert dieser nicht mehr, weil er danach nicht mehr zu sehen ist.“

Für die Bewertung dieser Aussage erhalten alle Schüler:innen folgenden Input (siehe Abbildung 80):

#### Informationskasten: Warum ist die Zuckerlösung nicht weiß?

Liegen mehrere Zuckerkristalle zusammen vor, wie in dem Becherglas mit Haushaltszucker, so erscheint der Zucker weiß.

In der Abbildung sind Zuckerkristalle dargestellt.  
Es ist zu erkennen, dass diese nicht durchgängig weiß,  
sondern teilweise farblos sind.  
Aufgrund von Lufteinschlüssen oder Kratzer an der Oberfläche  
ist die Struktur des Kritsalls gestört.  
Deshalb sind manche Zuckerkristalle teilweise leicht weiß.  
Zuckerkristalle sind ohne Lufteinschlüsse oder Kratzer farblos.



#### Merke:

Der **Zucker ist sichtbar**, wenn viele Zucker-Teilchen zusammen **in einem Verband** vorliegen.

Der **Zucker ist nicht sichtbar**, wenn alle Zucker-Teilchen **einzelne zwischen den Wasser-Teilchen verteilt** sind.

Abbildung 80: Informationskasten und Merksatz

Der Informationskasten enthält die grundlegenden Aussagen darüber, warum Zucker weiß erscheint, während der Merksatz die Inhalte kompakt auf der Teilchenebene zusammenfasst. Überdies erhalten die Schüler:innen folgende Hinweise:

- beim Föhnen entstehen Temperaturen von ca. 110 °C,
- Zucker schmilzt ab einer Temperatur von 135 °C und
- Wasser verdampft bei 100 °C. (Dieser Wert ist abhängig vom Sättigungsdampfdruck und vom Luftdruck.)

Zur Unterstützung dieser Aufgabe wird den Schüler:innen auf der verbalen Ebene des Abstraktionsgrades ein Wortfeld sowie ein Wortgeländer zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 81), das einem mittelstarken Impuls entspricht.

#### 4.4.2.2 Wortgeländer

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		verbale Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

Tabelle 36: Einordnung von Wortgeländern in die dreidimensionale Planungshilfe

Ein Wortgeländer dient als Gerüst zur Formulierung eines Textes, wie z.B. eine Versuchsdurchführung mithilfe von vorgegebenen Wortelementen. Ziel dieser Methode ist die Anwendung der Fachsprache. Sie unterstützt die Schüler:innen bei Satzstrukturen, um sprachliche Fehler beim Sprechen und Schreiben zu reduzieren [110, S. 14].

### Wortgeländer

Bilde mit dem Wortgelände deine Bewertung.

- |  |
|--|
| (1) Aussage - richtig/falsch<br><b>Begründung:</b><br>(2) Zucker - Wasser - gegeben - vermischen - Zucker-Teilchen/<br>Wasser-Teilchen<br>(3) Zucker - nicht sichtbar<br>(4) Zucker-Teilchen - einzeln - zwischen - Wasser-Teilchen -<br>verteilt<br>(5) Zuckerlösung - erhitzen - gasförmig - Aggregatzustand -<br>übergehen - Wasser-Teilchen<br>(6) Zucker-Teilchen - Petrischale - zurückbleiben |
|--|

**Abbildung 81: Wortgeländer**

Zudem können die Schüler:innen ein Satzmuster zur Hilfe nehmen, falls die ersten beiden Unterstützungsangebote nicht den versprochenen Effekt erzielen und eine Formulierung der Lösung nicht möglich ist.

Zusätzlich stehen den Schüler:innen als lernstrukturelle Hilfe zwei Filmleisten mit einem Lückentext zur Auswahl.

#### 4.4.2.3 Filmleiste

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		schwerer Impuls

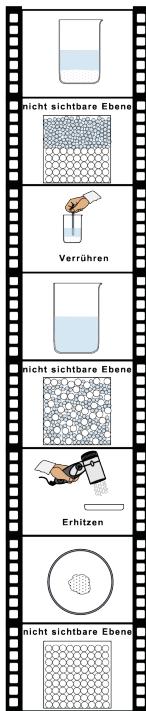
**Tabelle 37: Einordnung von Filmleisten in die dreidimensionale Planungshilfe**

Diese Methode der Unterstützung zeigt eine Abfolge von Fotografien oder ikonischen Abstraktionen in einer logischen Reihenfolge. Filmleisten können in vielen Formen (Handlungen, Konstruktionen etc.) angewendet werden. In diesem Kontext wird die Abfolge eines Experimentes mit der submikroskopischen Ebene verbunden, um so die Versprachlichung zu vereinfachen [110, S. 26]. In den Abbildung 82 und Abbildung 83 ist jeweils eine Filmleiste dargestellt. Dort sind die Abbildungen aus den Beobachtungen mit der Deutung auf der submikroskopischen Ebene verknüpft. Zur weiteren Hilfe bei der Verbalisierung der Deutung befindet sich ein Lückentext rechts neben der Filmleiste. Durch die Zerlegung in Einzelschritte unterstützen die Abbildung die Deutung des Versuchs, wie die Anordnung der Teilchen in den jeweiligen zeitlichen Abschnitten ist.

**Filmleiste mit Lückentext**

Füll die Lücken mit den Begriffen aus.  
(Mehrfachnennung möglich.)

Zucker - Zucker-Teilchen - Wasser-Teilchen - einzeln -  
gasförmigen - falsch - Wasser



(1) Die Aussage ist \_\_\_\_\_.

Begründung:

(2) Wird \_\_\_\_\_ in \_\_\_\_\_ gegeben und  
verröhrt, vermischen sich die \_\_\_\_\_-  
\_\_\_\_\_ mit den \_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_.

(3) Der \_\_\_\_\_ ist nicht mehr sichtbar.

(4) Die Zucker-Teilchen sind \_\_\_\_\_ zwischen  
den Wasser-Teilchen verteilt.

(5) Wird die Zuckerslösung erhitzt, ordnen sich die  
\_\_\_\_\_ in den \_\_\_\_\_ Aggregatzustand an.

(6) Die \_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_ bleiben in der  
Petrischale zurück.

(7) Die \_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_ ordnen sich in den  
Verband des \_\_\_\_\_ Aggregatzustandes an.

**Filmleiste mit Lückentext**

Füll die Lücken mit den Begriffen aus.  
(Mehrfachnennung möglich.)

Zucker - Zucker-Teilchen - Wasser-Teilchen - einzeln -  
gasförmigen - falsch - Wasser



(1) Die Aussage ist \_\_\_\_\_.

Begründung:

(2) Wird \_\_\_\_\_ in \_\_\_\_\_ gegeben und  
verröhrt, vermischen sich die \_\_\_\_\_-  
\_\_\_\_\_ mit den \_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_.

(3) Der \_\_\_\_\_ ist nicht mehr sichtbar.

(4) Die Zucker-Teilchen sind \_\_\_\_\_ zwischen  
den Wasser-Teilchen verteilt.

(5) Wird die Zuckerslösung erhitzt, ordnen sich die  
\_\_\_\_\_ in den \_\_\_\_\_ Aggregatzustand an.

(6) Die \_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_ bleiben in der  
Petrischale zurück.

(7) Die \_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_ ordnen sich in den  
Verband des \_\_\_\_\_ Aggregatzustandes an.

Abbildung 82: Filmleiste mit ikonischen Abstraktionen und Lückentext

Abbildung 83: Filmleiste mit Fotografien und Lückentext

Ein ähnlicher Versuch, wie das Lösen und Auskristallisieren von Zucker, ist das „Molekulare Filtrieren“.

#### **4.5 Differenzierung Versuch 18: „Molekulares Filtrieren“**

Unter dem Aspekt der Anwendung und Festigung von Wissen soll dieser Versuch durchgeführt werden, um zum einen die experimentellen Fertigkeiten der Schüler:innen zu stärken, und zum anderen, die bereits erworbenen Erkenntnisse zum undifferenzierten Teilchenmodell anzuwenden. Wie bei dem Versuch zum Mischen von Brennspiritus mit Wasser ist auch bei diesem eine didaktische Reduktion nötig. Es geht lediglich um die Mischung und Trennung der beiden Komponenten, ohne den Blick auf den Prozess in Bezug auf die Wechselwirkung der Teilchen untereinander zu betrachten. Gemeint sind damit die Wechselwirkungen zwischen der Komponente Cellulose, aus der die Filter bestehen, und der Komponente Azorubin, die den Farbstoff der Farbtablette ausmacht. Letztendlich beruht die Trennung auf dem Prozess der Adsorption. Ziel bei der Deutung des Versuchs mit der Teilchenvorstellung ist, dass die Schüler:innen erkennen, dass zwischen den Teilchen ein Diskontinuum herrscht und sich unterschiedliche Teilchen durch verschiedene Prozesse voneinander trennen lassen.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 84 und Abbildung 85 sowie im Anhang):

Name:	Klasse:	Datum:	
Thema: Teilchenmodell			
<b>„Molekulares Filtrieren“</b>			
<b>Aufgabe:</b> Untersuche mittels Experiment, was passiert, wenn du zu 1 g einer Farbtablette 15 mL Wasser gibst und die Lösung anschließend filtrierst.			
<b>1. Vorbereitung:</b> Stelle dir alle benötigten Materialien auf deinen Arbeitsplatz.			
<b>Geräte:</b>			
Becherglas	<input type="checkbox"/>	4 Rundfilter	<input type="checkbox"/>
Messzylinder	<input type="checkbox"/>	Trichter	<input type="checkbox"/>
3 Reagenzgläser	<input type="checkbox"/>	Waage am Platz oder an einer Station	<input type="checkbox"/>
Reagenzglasständer	<input type="checkbox"/>		
<b>Chemikalien:</b>			
Wasser	<input type="checkbox"/>	Farbtablette	<input type="checkbox"/>
<b>2. Durchführung:</b>			
Schritt	Durchführung		
2.1	Wiege ca. 1,00 g einer Farbtablette ab.		
2.2	Miss mit dem Messzylinder 15 mL Wasser ab.		
2.3	Gieße die 15 mL Wasser in das Becherglas mit der Farbtablette.		
2.4	Teile die hergestellte Lösung gleichmäßig auf zwei Reagenzgläser auf.		
2.5	Falte 4 Rundfilter und stecke sie ineinander, sodass gleich viele Lagen entstehen. Befeuchte die Rundfilter mit Wasser. Stecke die Rundfilter in den Trichter.		
2.6	Gieße die Lösung eines Reagenzglases in den Trichter mit den angefeuchteten Rundfiltern. (Das zweite Reagenzglas, mit Lösung, dient als Vergleich).		
2.7	Vergleiche die Lösungen in den Reagenzgläsern miteinander.		

1

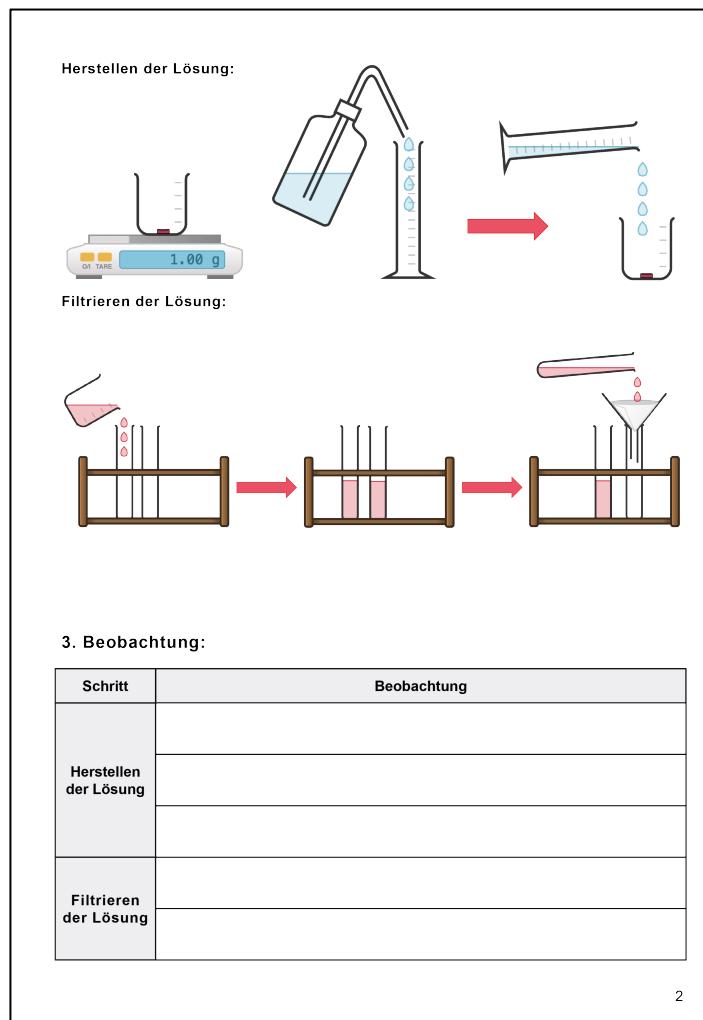


Abbildung 84: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 18: „Molekulares Filtrieren“

**4. Auswertung:**

4.1 Deute deine Beobachtungen zu dem Versuch mit der Teilchenvorstellung. Zeichne dazu die Teilchen in die Kästen ein.

2.3      2.4      2.6      2.7

sichtbare Ebene  
nicht sichtbare Ebene

Wasser-Teilchen      Farb-Teilchen

4.2 Erkläre mit Hilfe des Teilchenmodells, was passiert, wenn du Wasser zu einer Farbtablette gibst.

---



---



---



---



---



---

**4.3 Erkläre mit Hilfe des Teilchenmodells, warum die hergestellte Lösung nach dem Filtrieren farblos wurde.**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Abbildung 85: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 18: „Molekulares Filtrieren“

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung</b>	Anleitung in einfacher Sprache, mit Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	Wortfeld, Beobachtungshinweise, Satzanfänge, Antwortsätze, Satzmuster, Zeitverlauf
<b>Auswertung</b>	Hinweise zum Zeichnen (Abbildung mit Fotografien), Zuordnungskarten, Teillösung, Lösung, Wortfeld, Satzmuster, <i>Lückentext mit Fotografien und symbolische Darstellung der Teilchenebene</i>

Tabelle 38: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 18: „Molekulares Filtrieren“

Im Folgenden soll eine weitere Variante zu den **Lückentexten** der Auswertungsaufgabe vorgestellt werden. Alle anderen Unterstützungsmaßnahmen, die für diesen Versuch vorgesehen sind, wurden bereits beschrieben, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

#### 4.5.1 Auswertung

Die erste Aufgabe der Auswertung widmet sich den phänomenologischen Beobachtungen und deren Deutung auf der Teilchenebene.

Anschließend sollen die Schüler den Löseprozess und das Filtrieren auf der Teilchenebene erklären.

**„4.2 Erkläre mithilfe des Teilchenmodells, was passiert, wenn du Wasser zu einer Farhtablette gibst.“**

*„4.3 Erkläre mithilfe des Teilchenmodells, warum die hergestellte Lösung nach dem Filtrieren farblos wurde.“*

Beide Aufgaben sind schriftliche Aufgaben und können für die Formulierung vor allem auf der verbalen Ebene unterstützt werden. Hierzu stehen den Schüler:innen jeweils Wortfelder, Satzanfänge und Lückentexte zur Verfügung.

#### 4.5.1.1 Lückentext mit Fotografie

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale	Einordnung
Komplexitätsgrad		lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		bildliche, verbale und symbolische Ebene
gestufte Unterstützung		schwerer Impuls

**Tabelle 39: Einordnung von Lückentexten mit Fotografien in die dreidimensionale Planungshilfe**

Unterhalb der Lückentexte befinden sich zusätzlich Abbildungen mit Fotografien und der Deutung auf der Teilchenebene, um den Schreibprozess zu fördern und die abstrakte Vorstellung zu vereinfachen.

### Lückentext

Fülle die Lücken mit den Begriffen aus. Die Abbildung hilft dir zusätzlich.  
(Mehrfachnennung möglich.)

rot - Farb-Teilchen - Wasser-Teilchen -  
vermischen - verteilen - Lösung

(1) Die \_\_\_\_\_-Teilchen und \_\_\_\_\_-Teilchen  
\_\_\_\_\_ sich miteinander.

(2) Durch die \_\_\_\_\_-Teilchen in der \_\_\_\_\_ ist diese  
\_\_\_\_\_.

#### Herstellen der Farblösung

sichtbare Ebene

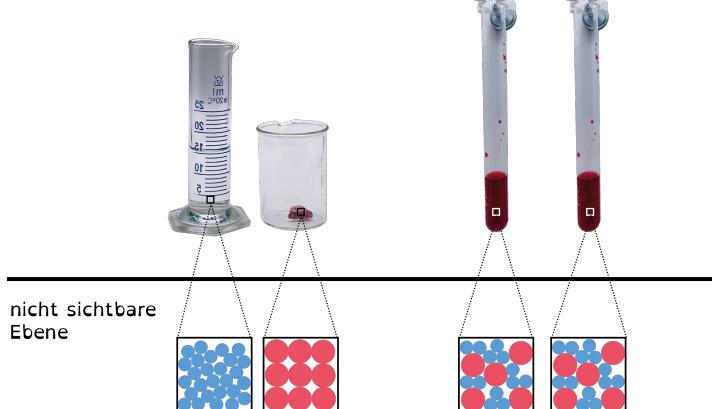


Abbildung 86: Lückentext zur Deutung des Löseprozesses Aufgabe 4.2

### Lückentext

Fülle die Lücken mit den Begriffen aus. Die Abbildung hilft dir zusätzlich.  
(Mehrfachnennung möglich.)

rot - Farb-Teilchen - Wasser-Teilchen - passieren - befinden  
vermischen - farblos - verteilen - Lösung

(1) Die \_\_\_\_\_-Teilchen \_\_\_\_\_ sich im Rundfilter.

(2) Der Rundfilter ist deshalb \_\_\_\_\_.

(3) In dem Reagenzglas mit der filtrierten \_\_\_\_\_ sind keine  
\_\_\_\_\_ -Teilchen enthalten.

(4) In der filtrierten \_\_\_\_\_ befinden sich nur  
\_\_\_\_\_ -Teilchen.

(5) Die filtrierte Lösung ist deshalb \_\_\_\_\_.

#### Filtrieren der Farblösung

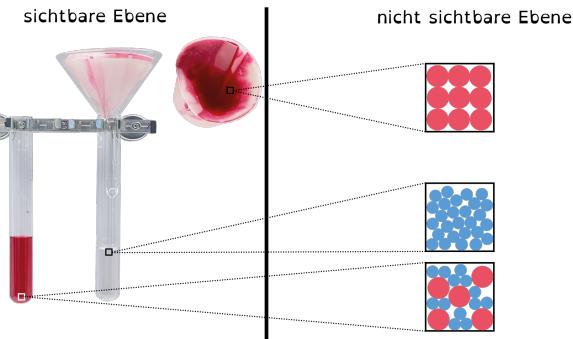


Abbildung 87: Lückentext zur Deutung des Filtrierens Aufgabe 4.3

In der Reihenfolge der Konzeption ist der Versuch „Brownsche Molekularbewegung“ mit fettarmer Milch nach dem „Molekularen Filtrieren“ beschrieben. Dieser Versuch kann in unterschiedlicher Art und Weise durchgeführt werden. Eine Variante ist die Demonstration des Versuchs, eine weitere, dass dieser in einer Station zur Verfügung gestellt wird oder bei ausreichend vorhandenen Mikroskopen alle Schüler:innen gleichzeitig den Versuch durchführen. Bei der ersten Variante schließt sich zu der Demonstration ein Lehrervortrag an und die Erkenntnis, dass sich Teilchen im flüssigen Aggregatzustand in ständiger und ungerichteter Bewegung befinden, wird den Schüler:innen präsentiert. Die zweite Variante schließt die eigene Aktivität der Schüler:innen mit ein und ist aus diesem Grund zu bevorzugen, da eine selbst durchgeführte Handlung besser in der Erinnerung der Schüler:innen bleibt.

#### **4.6 Differenzierung Versuch 19: „Brownsche Molekularbewegung“**

Die Tatsache, dass sich Teilchen in ständiger Bewegung befinden, ist insbesondere für Schüler:innen nur schwer vorstellbar. Mit den AR-Sequenzen zu den Aggregatzuständen ist für die Lernenden eine Bewegung der Teilchen besser zu verstehen, doch dies kann experimentell nicht bestätigt werden. Demzufolge wird entweder von der Lehrkraft die *Brownsche Molekularbewegung* am Beispiel von 1,5 %-Milch demonstrativ vorgeführt, im Idealfall mit der Projektion des Livebildes an die Leinwand, oder die Schüler:innen werden selbst aktiv, z.B. an einer Station oder in Partnerarbeit. Dabei ist die letzte Variante zu bevorzugen, um eine möglichst hohe Behaltensleistung zu erzielen.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 88 und Abbildung 89 sowie im Anhang):

Name:	Klasse:	Datum:	
<b>Thema: Teilchenmodell</b>			
<b>Aufgabe:</b> <b>Beobachte</b> die Bewegung von Fettröpfchen von 1,5 %- Milch unter dem Mikroskop. <b>Deute</b> anschließend die Beobachtung mit dem Teilchenmodell.			
<b>Vorbereitung:</b> Lies die Durchführung und bereite Deinen Arbeitsplatz vor.			
<b>Geräte:</b>			
Mikroskop	<input type="checkbox"/>	Becherglas	<input type="checkbox"/>
Objektträger	<input type="checkbox"/>	3-mL-Pipette	<input type="checkbox"/>
Deckgläschchen	<input type="checkbox"/>	Papiertuch	<input type="checkbox"/>
<b>Chemikalien:</b>			
1,5 % Milch	<input type="checkbox"/>		
<b>Durchführung:</b>			
Schritte	Durchführung		
1	Gib auf den Objektträger 1-2 Tropfen Milch.		
2	Lege das Deckgläschchen über die zugetropfte Milch. Hinweis: Zuerst das Deckgläschchen seitlich an die Milch und auf den Objektträger ansetzen. Danach das Deckgläschchen langsam nach unten legen. Milch die aus den Seiten fließt kann mit dem Papiertuch entfernt werden.		
3	Lege den Objektträger auf den Objekttrichter des Mikroskopes. Hinweis: Schalte die Lichtquelle ein.		
4	Stelle an dem Mikroskop eine 400 fache Vergrößerung ein. Hinweis: Drehe dazu den Objektivrevolver.		
5	Sieh durch das Okular und stelle mit Hilfe des Grob- und Feintriebes das Bild scharf.		
6	Beobachte die Fettröpfchen. Fokusiere dazu einen Fettröpfchen und beobachte ihn.		

**Beobachtung:**  
Beschreibe die mikroskopische Abbildung.

---



---

**Zeichne die Beobachtung:**

In dem Kasten ist ein Fettröpfchen abgebildet. Dies ist der Startpunkt.

1. Beobachte das Fettröpfchen unter dem Mikroskop für eine Minute. Das Fettröpfchen bewegt sich in irgendeine Richtung.
2. Zeichne den neuen Platz deines fokussierten Fettröpfchens in den Kasten.
3. Wiederhole 1. und 2. drei Mal.
4. Verbinde die Bewegung mit einem Pfeil.

Fettröpfchen in Milch

Fettröpfchen Startpunkt

Abbildung 88: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 19: „Brownsche Molekularbewegung“

**Auswertung:**

1. Lies den Informationstext.

- (1) Milch besteht zu ca. 89 % aus Wasser, 1,5 % Fett, 4,8 % Milchzucker und 3,3 % Milcheiweiß.
- (2) Den restlichen 1,4 % der Zusammensetzung von Milch bilden Vitamine und Mineralstoffe.
- (3) Betrachtet man die Milch unter dem Mikroskop sind nur Fettröpfchen sichtbar.
- (4) Warum ist das so?
- (6) Die Fettröpfchen bestehen aus mehreren Fett-Teilchen.
- (7) Die Fett-Teilchen ordnen sich untereinander in einem Verband an.
- (8) Die Fett-Teilchen sind dabei so angeordnet dass sie den Merkmalen des flüssigen Aggregatzustandes entsprechen.
- (9) Die Fett-Teilchen können in dem Verband ihre Positionen tauschen und aneinander vorbei gleiten.
- Die Fett-Teilchen haben die Eigenschaft, dass sie zum größten Teil wasserabweisend sind.
- (10) In der Milch ist der Verband aus Fett-Teilchen von Wasser-Teilchen umgeben.
- (11) Sie vermischen sich aber nicht mit den Wasser-Teilchen und bleiben in ihrem Verband angeordnet.
- (12) Die Wasser-Teilchen bewegen sich ohne Regeln in irgendeine Richtung.
- (13) Die Wasser-Teilchen stoßen den Verband aus Fett-Teilchen an.
- (14) Deswegen ist unter dem Lichtmikroskop die Bewegung der Fettröpfchen sichtbar.

Scanne den QR-Code, um dir ein **Fettröpfchen** detailliert im Modell ansehen zu können.



**Fettröpfchen unter dem Mikroskop**    **Fett-Teilchen im Verband im Teilchenmodell**    **Fett-Teilchen**    **Wasser-Teilchen**

In der linken Abbildung ist ein Ausschnitt aus der **Mikroskopaufnahme**. Rechts daneben ist ein **Fettröpfchen auf der Teilchenebene** dargestellt. Dieses ist umgeben von vielen Wasser-Teilchen.

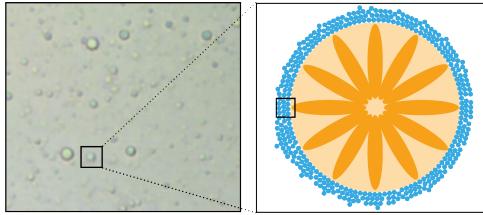


Bild 1: Mikroskopaufnahme    Bild 2: Fettröpfchen auf der Teilchenebene

3

2. Lies die Bildbeschreibung in Zusammenhang mit den Bildern, die einen Ausschnitt eines Fettröpfchen auf der Teilchenebene (Bild 2) darstellen.

Filmleiste	Bildbeschreibung
<b>Bild A</b>	(1) In <b>Bild A</b> ist die Ausgangssituation abgebildet.
<b>Bild B</b>	(2) In <b>Bild B</b> ist ein Wasser-Teilchen hervorgehoben, um dessen Bewegung es geht. (3) Das Wasser-Teilchen bewegt sich diagonal nach unten rechts. (4) Es gleitet zwischen mehrere andere Wasser-Teilchen und stößt diese an.
<b>Bild C</b>	(5) In <b>Bild C</b> bewegen sich die angestoßenen Wasser-Teilchen in Richtung des Verbandes an Fett-Teilchen und stoßen diesen an. (6) Der Verband an Fett-Teilchen würde sich ein wenig nach rechts bewegen. (Mit dem roten Pfeil dargestellt.)
<b>Bild D</b>	(7) In <b>Bild D</b> ist eine Bewegung für den Zeitraum von Nanosekunden abgeschlossen. (8) Ein neuer Bewegungszyklus beginnt.

**Die unregelmäßige, zickzack-artige Bewegung von unter dem Mikroskop sichtbaren Komponenten nennt man Brownsche Molekularbewegung (kürzer: Brownsche Bewegung).**

Kleine Teilchen z.B. Wasser-Teilchen umgeben die Komponente und bewegen sie durch ihre eigene, unregelmäßige Bewegung durch Anstoßen.

3. Stelle die Brownsche Molekularbewegung in einem Modell nach. Nutze dazu geeignete Materialien. (z.B. Murmeln, Bälle, Aquaperlen)

4

Abbildung 89: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 19: „Brownsche Molekularbewegung“

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung</b>	Anleitung in einfacher Sprache, mit Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	Wortfeld, Satzmuster, Zeitverlauf, Video, <i>Lösungsbeispiel</i>
<b>Auswertung</b>	<i>Modell mit Aquaperlen</i>

Tabelle 40: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 19: „Brownsche Molekularbewegung“

Im Folgenden sollen das ***Lösungsbeispiel*** als Unterstützungsangebote für die Beobachtung und das ***Modell mit Aquaperlen*** für die Auswertung des Versuchs vorgestellt werden. Alle anderen Unterstützungsmaßnahmen, die für diesen Versuch vorgesehen sind, wurden bereits beschrieben, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

#### 4.6.1 Beobachtung

Die Beobachtung soll von den Schüler:innen in wenigen Sätzen beschrieben werden: „**Beschreibe** die mikroskopische Abbildung.“

Um diese Aufgabe zu lösen, stehen den Schülerinnen ein Wortfeld und ein Satzmuster zur Verfügung.

Zusätzlich zur Verbalisierung der Beobachtung sollen sie diese zeichnen:

„In dem Kasten ist ein Fetttröpfchen abgebildet. Dies ist der Startpunkt.“

1. **Beobachte** das Fetttröpfchen unter dem Mikroskop für eine Minute.

*Das Fetttröpfchen bewegt sich in irgendeine Richtung.*

2. **Zeichne** den neuen Platz deines fokussierten Fetttröpfchens in den Kasten.

3. ***Wiederhole 1. und 2. dreimal.***
4. ***Verbinde die Bewegung mit einem Pfeil.“***

#### 4.6.1.1 Lösungsbeispiel

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Einordnung
Komplexitätsgrad	Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad	bildliche Ebene
gestufte Unterstützung	schwerer Impuls

Tabelle 41: Einordnung von Lösungsbeispielen in die dreidimensionale Planungshilfe

In der Abbildung 90 ist ein Lösungsbeispiel dargestellt, das den Schüler:innen zur Verfügung gestellt werden kann, um ihnen auf der bildlichen Ebene eine Strukturierungshilfe anbieten zu können und ihnen für die eigene zeichnerische Darstellung eine Orientierung gibt.

**Lösungsbeispiel**  
**Nutze das Lösungsbeispiel zur Orientierung.**  
**Zeichne die Bewegung deines fokussierten Fetttröpfchens auf dein Arbeitsblatt.**

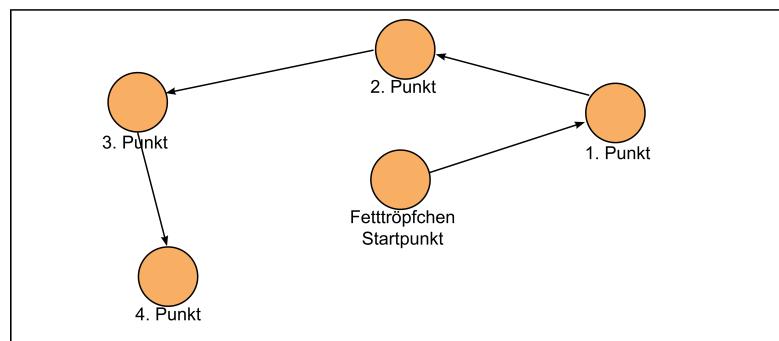


Abbildung 90: Lösungsbeispiel zur Bewegung eines Fetttröpfchens

Die Bewegung der Fetttröpfchen soll anschließend ausgewertet werden, indem die Beobachtung mit dem Teilchenmodell interpretiert wird.

#### 4.6.2 Auswertung

Um hier nicht in die einseitige Position zu kommen, Informationen durch Erklären an die Schüler:innen weiterzugeben, empfiehlt sich eine schrittweise Vorgehensweise mit den Schüler:innen zusammen im Sinne eines Refutations-Ansatzes. Dazu sollten für die Interpretation der Beobachtungen die Ideen und

Vorstellungen gesammelt und diskutiert werden. Hilfreich ist dabei zuerst die Zusammensetzung der Milch zu thematisieren, und anschließend zu erfragen, warum die Fetttröpfchen unter dem Lichtmikroskop sichtbar sind. Die Schüler:innen können einen Zusammenhang aus dem Versuch zum Lösen und Auskristallisieren von Zucker erschließen. Der Zucker ist nur in einem Verband sichtbar, sobald er von Wasser-Teilchen umgeben ist, kann er mit dem bloßen Auge nicht gesehen werden. Ähnlich ist es mit den Fetttröpfchen, zwar sind diese nur unter dem Mikroskop sichtbar, liegen aber in einem Verband vor, sodass sie überhaupt erkennbar sind. Andere Teilchen aus der Milch sind wiederum nicht sichtbar, da diese viel zu klein sind. Nach der Strukturierung der Vorkenntnisse kann im Anschluss das Arbeitsblatt mit den Auswertungsaufgaben verteilt werden, auf denen die richtigen und mit den Schüler:innen erarbeiteten Deutungen zusammengefasst sind.

Die Zusammensetzung der Milch und die Anordnung der Teilchen wird in einem Informationstext (siehe Abbildung 91) aufgeschlüsselt. Außerdem wird die Bewegung der Teilchen erklärt. Im Anschluss soll diese durch Modellarbeit vertieft werden.

### Auswertung:

#### 1. Lies den Informationstext.

- (1) Milch besteht zu ca. 89 % aus Wasser, 1.5 % Fett, 4.8 % Milchzucker und 3.3% Milcheiweiß.
- (2) Den restlichen 1.4 % der Zusammensetzung von Milch bilden Vitamine und Mineralstoffe.
- (3) Betrachtet man die Milch unter dem Mikroskop sind nur Fetttröpfchen sichtbar.
- (4) Warum ist das so?
  - (6) Die Fetttröpfchen bestehen aus mehreren Fett-Teilchen.
  - (7) Die Fett-Teilchen ordnen sich untereinander in einem Verband an.
  - (8) Die Fett-Teilchen sind dabei so angeordnet dass sie den Merkmalen des flüssigen Aggregatzustandes entsprechen.
  - (9) Die Fett-Teilchen können in dem Verband ihre Positionen tauschen und aneinander vorbei gleiten.  
Die Fett-Teilchen haben die Eigenschaft, dass sie zum größten Teil wasserabweisend sind.
- (10) In der Milch ist der Verband aus Fett-Teilchen von Wasser-Teilchen umgeben.
- (11) Sie vermischen sich aber nicht mit den Wasser-Teilchen und bleiben in ihrem Verband angeordnet.
  - (12) Die Wasser-Teilchen bewegen sich ohne Regeln in irgendeine Richtung.
  - (13) Die Wasser-Teilchen stoßen den Verband aus Fett-Teilchen an.
  - (14) Deswegen ist unter dem Lichtmikroskop die Bewegung der Fetttröpfchen sichtbar.

Abbildung 91: Informationstext zum Versuch Mikroskopieren von Milch (Brownsche Bewegung)

Um die Vorstellung über den Aufbau eines Fetttröpfchens zu erhalten, können die Schüler:innen die AR-Sequenz (siehe Abbildung 92) nutzen. Diese zeigt

sukzessiv den Aufbau eines Fetttröpfchens und zeigt den Verband der Anordnung.

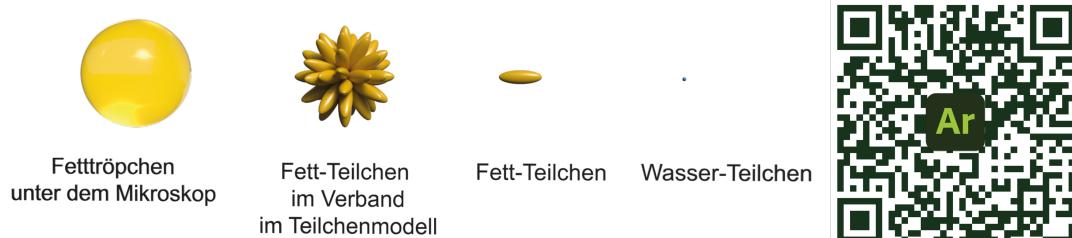


Abbildung 92: Aufbau Fetttröpfchen in 3D

Um die Bewegung besser zu verstehen und mit den eigenen Vorstellungen zu vereinbaren bzw. diese neu zu ordnen (Conceptual Change), zeigen die Abbildungen schrittweise und in den Vergrößerungen die Anordnung der Teilchen. So ist links ein Ausschnitt einer Mikroskop-Abbildung dargestellt und rechts ausschnittsweise die Anordnung der Teilchen in einer ikonischen Abstraktion. Dabei ist der Verband rund und hellgelb dargestellt. Die länglichen, ovalen und gelben Teilchen symbolisieren die Fett-Teilchen, während die Wasser-Teilchen (rund und blau) den gesamten Verband umgeben.

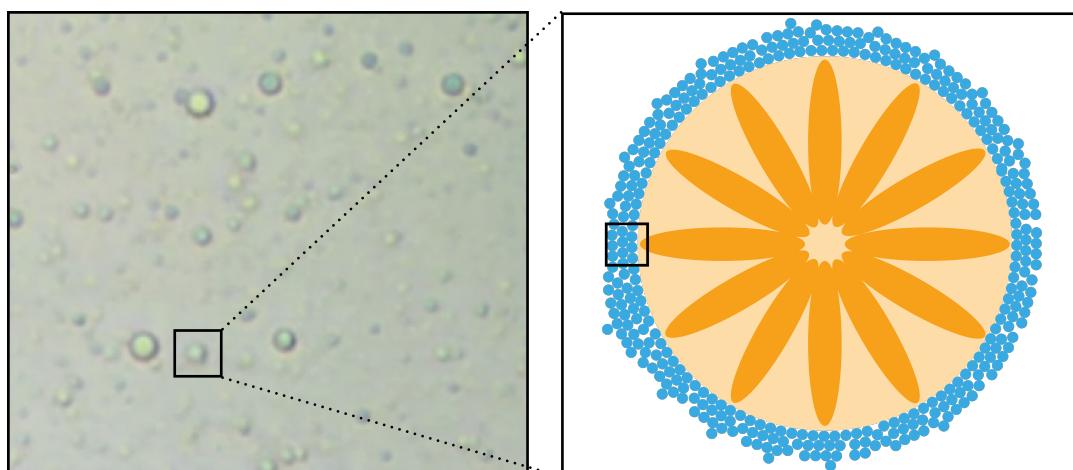


Abbildung 93: Re. Ausschnitt Mikroskopie von Milch, li. Deutung im Teilchenmodell  
Quelle: eigene Darstellung

Zur Darstellung des Vorganges der Bewegung in einem zeitlichen Rahmen und einer logischen, richtigen Reihenfolge ist dieser in einer Filmleiste dargestellt und bezieht sich auf einen Ausschnitt der Anordnung der Teilchen aus der Abbildung 93. Die Bilder A-D zeigen im Teilchenmodell die Bewegung der Wasser-Teilchen, die den Verband aus Fett-Teilchen anstoßen. Diese Bewegung entspricht einer Dauer von Nanosekunden und wird überall billionenfach wiederholt.

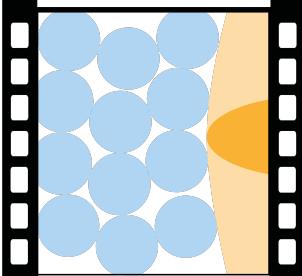
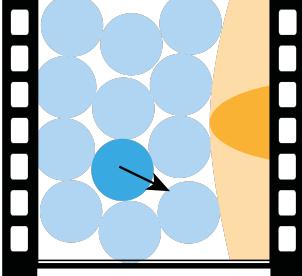
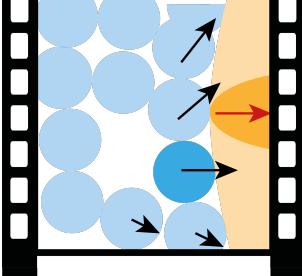
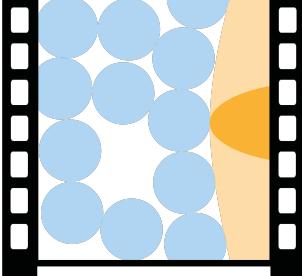
Filmleiste	Bildbeschreibung
<b>Bild A</b> 	(1) In <b>Bild A</b> ist die Ausgangssituation abgebildet.
<b>Bild B</b> 	(2) In <b>Bild B</b> ist ein Wasser-Teilchen hervorgehoben, um dessen Bewegung es geht. (3) Das Wasser-Teilchen bewegt sich diagonal nach unten rechts. (4) Es gleitet zwischen mehrere andere Wasser-Teilchen und stößt diese an.
<b>Bild C</b> 	(5) In <b>Bild C</b> bewegen sich mehrere Wasser-Teilchen in Richtung des Verbandes an Fett-Teilchen und stoßen diesen an. (6) Der Verband an Fett-Teilchen würde sich ein wenig nach rechts bewegen. (Mit dem roten Pfeil dargestellt.)
<b>Bild D</b> 	(7) In <b>Bild D</b> ist eine Bewegung für den Zeitraum von Nanosekunden abgeschlossen. (8) Ein neuer Bewegungszyklus beginnt.

Abbildung 94: Filmleiste zur Brownschen Bewegung

Um den Prozess bei der Brownschen Bewegung besser nachvollziehen zu können, sind die Schüler:innen dazu aufgefordert, diese in einem Modell nachzustellen.

„3. Stelle die Brownsche Molekularbewegung in einem Modell nach.“

**Nutze dazu geeignete Materialien. (z.B. Murmeln, Bälle, Aquaperlen)“**

#### 4.6.2.1 Modellarbeit mit Aquaperlen zur Brownschen Bewegung

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Einordnung
Komplexitätsgrad	lineare Kausalität
Abstraktionsgrad	gegenständliche und symbolische Ebene
gestufte Unterstützung	leichter Impuls

Tabelle 42: Einordnung von Modellarbeit in die dreidimensionale Planungshilfe

Mittels dieser Vorgehensweise soll das Wissen immanent werden. In der Abbildung 95 sind zwei Beispiele abgebildet, die mit Aquaperlen durchgeführt wurden. Die erste Variante zeigt Aquaperlen in einer Petrischale. Durch Bewegung der blauen Aquaperlen (Wasser-Teilchen) bewegen sich die nächstgelegenen Nachbarn, sodass es zu einer Verschiebung der „Teilchen“ kommt sowie den Verbänden aus Fett-Teilchen (Fetttröpfchen), die die gelben Aquaperle symbolisieren. Modellkritisch muss erwähnt werden, dass die Größenverhältnisse nicht übereinstimmen, allerdings kann die Bewegung so nachvollzogen werden kann. In einer anderen Variante sind die Aquaperlen in einem Plastikbeutel und können durch äußeren Druck verschoben werden.

#### Modellbeispiel mit Aquaperlen

In einer Petrischale/Plastikbeutel befinden sich kleine und große Aquaperlen.  
Durch Anstoßen der „Wasser-Teilchen“ bewegen sich andere „Wasser-Teilchen“ sowie die „Fetttröpfchen“.

blaue Aquaperlen: „Wasser-Teilchen“  
gelbe Aquaperlen: „Fetttröpfchen“

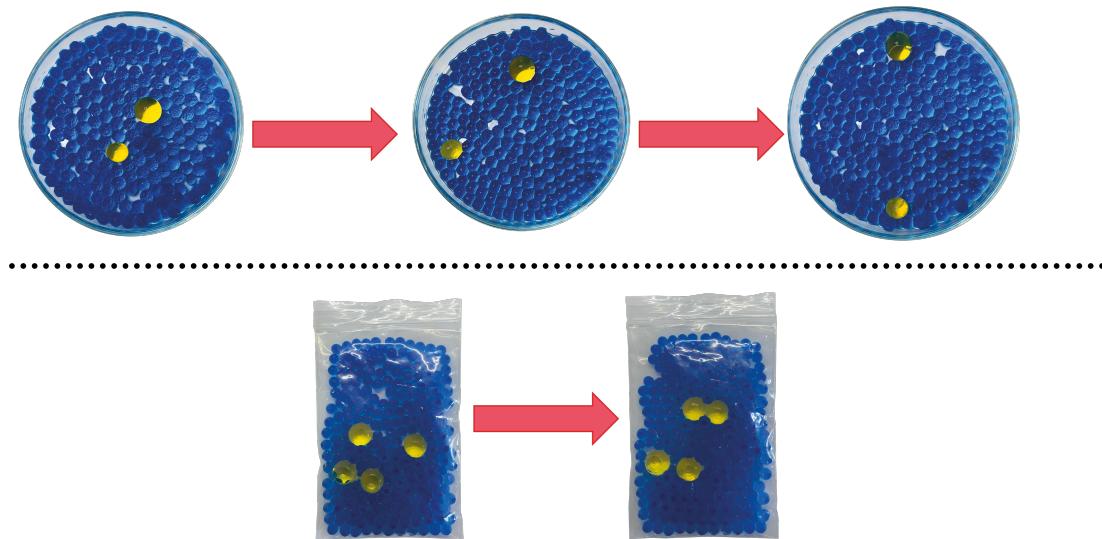


Abbildung 95: Modelldarstellung Brownsche Bewegung mit Aquaperlen

Zusätzlich zu diesen Aufgaben können die Schüler:innen aufgrund ihrer Erkenntnisgewinnung folgende Aufgaben in schriftlicher Form lösen:

**1: Vergleiche das Lösen von Zucker mit den Fetttröpfchen der Milch.**

**2: Begründe, warum die übrigen Bestandteile der Milch (Milchzucker, Milcheiweiß, Vitamine und Mineralstoffe) unter dem Mikroskop nicht sichtbar sind.**

#### **4.7 Differenzierung Versuch 20: „Aufbrühen von rotem Früchtetee“**

Der letzte Versuch „Aufbrühen von rotem Früchtetee“ soll die Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells abschließen, wobei die erworbenen Kenntnisse zu den Merkmalen des Teilchenmodells Anwendung finden.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 96 und Abbildung 97 sowie im Anhang):

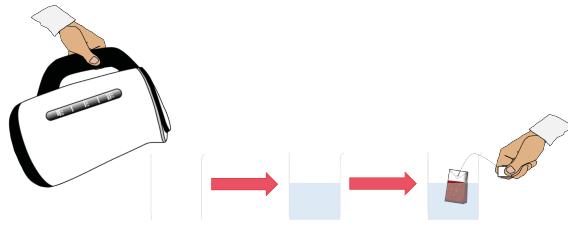
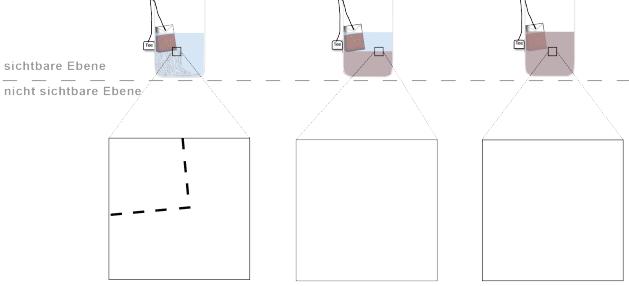
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Name:</td> <td>Klasse:</td> <td>Datum:</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Thema: Teilchenmodell</td> </tr> </table> <p><b>„Aufbrühen von Früchtetee“</b></p> <p><b>Aufgabe:</b> Untersuche mittels Experiment, was passiert, wenn du einen Teebeutel mit rotem Früchtetee in ein Becherglas mit heißem Wasser gibst.</p> <p><b>1. Vorbereitung:</b> Stelle dir alle benötigten Materialien auf deinen Arbeitsplatz.</p> <p><b>Geräte:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Becherglas</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Wasserkocher</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p><b>Chemikalien:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Teebeutel</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Wasser</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p><b>2. Durchführung:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Schritt</th> <th>Durchführung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.1</td> <td>Erhitze Wasser in einem Wasserkocher, bis es siedet.</td> </tr> <tr> <td>2.2</td> <td>Fülle das Becherglas bis zur Hälfte mit dem siedenden Wasser.</td> </tr> <tr> <td>2.3</td> <td>Gib den Teebeutel in das heiße Wasser.</td> </tr> <tr> <td>2.4</td> <td>Notiere deine Beobachtungen.</td> </tr> </tbody> </table>  <p style="text-align: center;">1</p>	Name:	Klasse:	Datum:	Thema: Teilchenmodell			Becherglas	<input type="checkbox"/>	Wasserkocher	<input type="checkbox"/>	Teebeutel	<input type="checkbox"/>	Wasser	<input type="checkbox"/>	Schritt	Durchführung	2.1	Erhitze Wasser in einem Wasserkocher, bis es siedet.	2.2	Fülle das Becherglas bis zur Hälfte mit dem siedenden Wasser.	2.3	Gib den Teebeutel in das heiße Wasser.	2.4	Notiere deine Beobachtungen.	<p><b>3. Beobachtung:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Beobachtung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td></tr> </tbody> </table> <p><b>4. Auswertung:</b></p> <p>4.1 Deute deine Beobachtungen zu dem Versuch mit der Teilchenvorstellung. Ergänze dazu das Schema.</p> <p>a) Zeichne die Teilchen zu den Schritten der Durchführung in das Schema ein.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <tr> <td><span style="color: lightblue;">●</span></td> <td>Wasser-Teilchen</td> <td><span style="color: red;">●</span></td> <td>Farb-Teilchen</td> <td><span style="color: brown;">●</span></td> <td>Tee-Bestandteil</td> </tr> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <p>sichtbare Ebene nicht sichtbare Ebene</p> <p>2</p> </div>	Beobachtung								<span style="color: lightblue;">●</span>	Wasser-Teilchen	<span style="color: red;">●</span>	Farb-Teilchen	<span style="color: brown;">●</span>	Tee-Bestandteil
Name:	Klasse:	Datum:																																					
Thema: Teilchenmodell																																							
Becherglas	<input type="checkbox"/>	Wasserkocher	<input type="checkbox"/>																																				
Teebeutel	<input type="checkbox"/>	Wasser	<input type="checkbox"/>																																				
Schritt	Durchführung																																						
2.1	Erhitze Wasser in einem Wasserkocher, bis es siedet.																																						
2.2	Fülle das Becherglas bis zur Hälfte mit dem siedenden Wasser.																																						
2.3	Gib den Teebeutel in das heiße Wasser.																																						
2.4	Notiere deine Beobachtungen.																																						
Beobachtung																																							
<span style="color: lightblue;">●</span>	Wasser-Teilchen	<span style="color: red;">●</span>	Farb-Teilchen	<span style="color: brown;">●</span>	Tee-Bestandteil																																		

Abbildung 96: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 20: „Aufbrühen von rotem Früchtetee“

4.2 Erkläre mit Hilfe des Teilchenmodells,

a) warum die roten Schlieren aus dem Teebeutel austreten und andere Teebestandteile zurückbleiben.  
b) warum die roten Schlieren zum Boden des Becherglases sinken.  
c) warum sich die Lösung langsam gleichmäßig rot farbt.

a)

---

---

---

b)

---

---

---

c)

---

---

---

3

Abbildung 97: Arbeitsblatt S. 3 zum Versuch 20: „Aufbrühen von rotem Früchtetee“

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung</b>	Anleitung in einfacher Sprache, mit Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	Wortfeld, Beobachtungshinweise, Satzmuster, Zeitverlauf, mit Wortgeländer, Video, Lückentext mit Filmleiste
<b>Auswertung</b>	<i>Hinweise zum Zeichnen</i> (Abbildung mit Fotografien, bildliche Darstellung), Teillösung, Wortfeld, Wortgeländer, Satzmuster, Lückentext, mit Filmleiste (Fotografie und bildliche Darstellung jeweils mit Teilchenebene)

Tabelle 43: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 20: „Aufbrühen von rotem Früchtetee“

Im Folgenden soll eine weitere Variante zu den ***Hinweisen zum Zeichnen*** der Auswertungsaufgabe vorgestellt werden. Alle anderen Unterstützungsmaßnahmen, die für diesen Versuch vorgesehen sind, wurden bereits beschrieben, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

#### 4.7.1 Auswertung

Die Auswertung des Versuchs ist auf der linearen und wechselseitigen Kausalität des Komplexitätsgrades zu verorten und besteht aus zwei Aufgaben. Die erste (lineare Kausalität) widmet sich der Interpretation der visuellen Wahrnehmung durch das Teilchenmodell. Dazu sind die Schüler:innen aufgefordert, die Anordnung der Teilchen in die vorgesehenen Kästen der „nicht sichtbaren Ebene“ einzulegen (siehe Abbildung 98).

#### 4. Auswertung:

4.1 Deute deine Beobachtungen zu dem Versuch mit der Teilchenvorstellung.  
Ergänze dazu das Schema.

a) Zeichne die Teilchen zu den Schritten der Durchführung in das Schema ein.

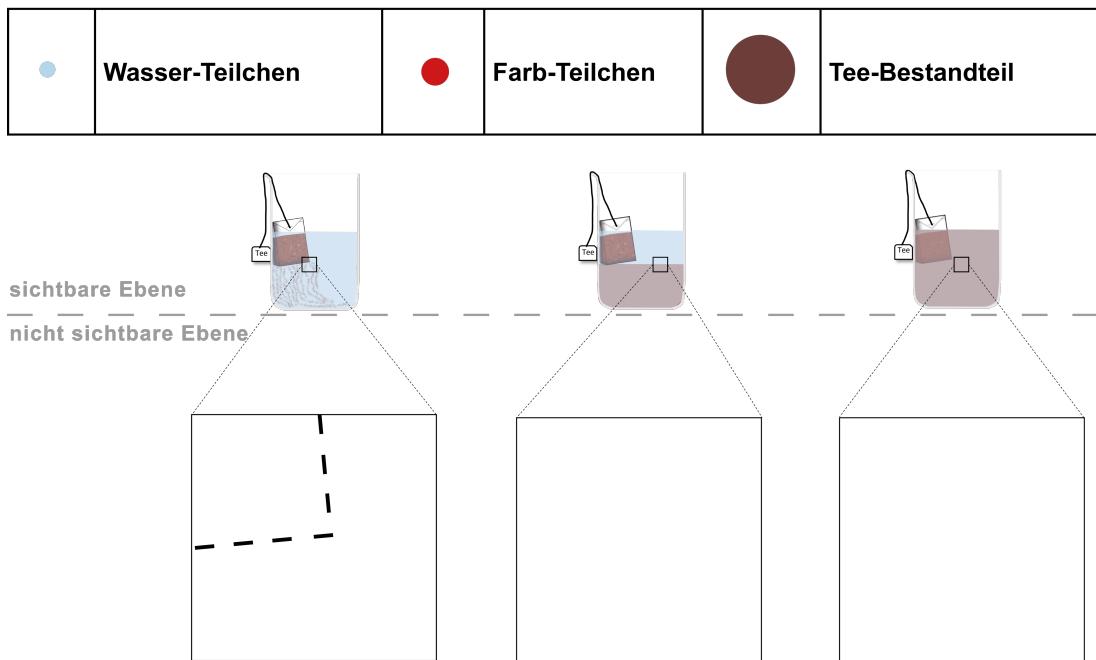


Abbildung 98: Auswertungsschema zum Versuch "Aufbrühen von rotem Früchtetee"

Zunächst steht den Schüler:innen eine Legende mit den zu beachtenden Teilchen zur Verfügung. Andere Maßnahmen zur Unterstützung sind die gegenständliche Abbildung der Bechergläser mit Fotografien der Beobachtung zu unterschiedlichen Zeitpunkten, die den ikonischen Abstraktionen gleichen.

##### 4.7.1.1 Hinweise zum Zeichnen von Teilchen

Eine weitere Hilfe ist eine Zeichnung, die die Verteilung der Teilchen aus dem Teebeutel zeigt und verbalisiert ist (siehe Abbildung 99). Innerhalb der dreidimensionalen Planungshilfe kann dieser mittlere Impuls innerhalb der linearen Kausalität dem symbolischen Abstraktionsgrad zugeordnet werden.

Ebene	dreidimensionale	Einordnung
Planungshilfe		
Komplexitätsgrad		lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		symbolische Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

Tabelle 44: Einordnung von Hinweisen zum Zeichnen in die dreidimensionale Planungshilfe

## Hinweise zum Zeichnen II

Farb-Teilchen entweichen aus dem Teebeutel und vermischen sich mit den Wasser-Teilchen.  
Andere Tee-Bestandteile bleiben zurück.

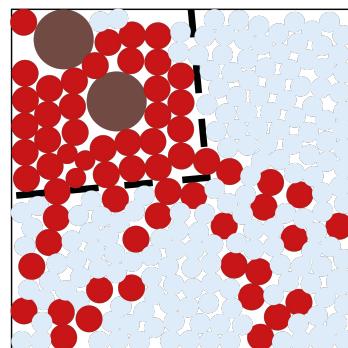


Abbildung 99: Verteilung der Teilchen aus dem Teebeutel

Die Zeichnung gibt das erste Feld des Deutungsschemas an und offenbart, wie die Teilchen während dieses Schrittes der Durchführung angeordnet sind. Durch diesen Impuls soll die Deutung der weiteren Felder angeregt werden, damit die Schüler:innen die übrigen Felder ausfüllen können. Als weiteren Hinweis können die Schüler:innen die Teillösung verwenden, die zu ergänzen ist.

In dem nachfolgenden Kapitel wird das Unterrichtskonzept zur Einführung der chemischen Reaktion beschrieben, wobei experimentell die Stoff- und Energieumwandlung thematisiert wird. Letzteres wird mithilfe der Energiewürfel unterstützt, um Enthalpie-Diagramme erstellen zu können. Anschließend festigen die Schüler:innen anhand weiterer Versuche ihr Wissen.

Ziel bei der Einführung der chemischen Reaktion ist es, die **Stoff-** und **Energieumwandlung** als Merkmale zu implementieren. Dabei sollen die Schüler:innen Kompetenzen entwickeln, um Edukte (Ausgangsstoffe) von den Produkten (Reaktionsprodukten) durch einen Vergleich der chemischen und physikalischen Eigenschaften zu unterscheiden und qualitativ ein Verständnis in einer Wortgleichung ausdrücken zu können. Bezogen auf das Merkmal der Energieumwandlung sollen die Schüler:innen Kompetenzen entwickeln, um Aussagen über die **Aktivierungsenergie**, die **endo- und exothermen Reaktion** sowie grafisch die Enthalpieänderung darstellen zu können.

Die **Umordnung der Teilchen** wird erst zu einem späteren Zeitpunkt innerhalb des Curriculums eingeführt, da dafür die Einführung des differenzierten Teilchenmodells (z.B. das Kugelwolkenmodell) und die Formelsprache eingeführt werden müssen.

## Kapitel 5 Konzept „Einführung der chemischen Reaktion“

In der vorherigen Unterrichtssequenz haben die Schüler:innen Kenntnisse über die Stoffe und ihre Eigenschaften erlangt, zum Zweck, dass sie in der Lage sind, die unterschiedlichen Stoffe voneinander abzugrenzen, respektive zu unterscheiden. Außerdem haben sie sich vertiefendes Wissen zu den Aggregatzuständen und den Aggregatzustandsänderungen angeeignet, und es erfolgte die Exemplifizierung und Implementierung des undifferenzierten Teilchenmodells, sodass den Lernenden der Bau der Stoffe bekannt ist. In diesem Kapitel wird das zentrale Thema „**Die chemische Reaktion**“ in den Chemieunterricht eingeführt.

Anknüpfend an die vorherige Unterrichtssequenz wird der Gedanke der Alltagssituation der ersten Unterrichtssequenz weiterverfolgt. Bei fast allen gesellschaftlichen Anlässen ist die Vor- und Zubereitung von Lebensmitteln ein wichtiger Bestandteil. Dabei soll zunächst überprüft werden, welche Auswirkungen das Erhitzen auf verschiedene Stoffe hat. Diese Fragestellung führt zur Abgrenzung der Aggregatzustandsänderung von der Stoffumwandlung und ist ein kennzeichnendes Merkmal der chemischen Reaktion. Das Phänomen der Stoffumwandlung wird im Anschluss von den Lernenden durch verschiedene Versuche genauer untersucht. Dabei wird immer wieder an die Alltagserfahrungen der Schüler:innen angeknüpft. Zur Untersuchung einer weiteren chemischen Reaktion dient die Herstellung von Grillkohle, die für die Inbetriebnahme eines Grills benötigt wird. Die Lernenden vertiefen durch diesen Versuch das neu Erlernte und nehmen wahr, dass der Ablauf dieser chemischen Reaktion einer ständigen Wärmezufuhr bedarf. Wird im darauffolgenden Versuch Kohle verbrannt, stellen die Schüler:innen fest, dass diese chemische Reaktion Wärme abgibt. Aus diesen beiden Versuchen ergibt sich der Grundstein für die Betrachtung des zweiten Merkmals einer chemischen Reaktion: die Energieumwandlung. An dieser Stelle wird die chemische Reaktion spezifiziert und in exotherme und endotherme Reaktion unterteilt sowie die Enthalpie-Diagramme erstellt. Gleichzeitig wird die Aktivierungsenergie, eingeführt und an anschaulichen Versuchen vertieft. Der letzte Lernschritt besteht darin, dass die Schüler:innen das gewonnene Fachwissen am Beispiel einer brennenden Kerze festigen und rückblickend vertieft anwenden.

Der Verlauf der Unterrichtseinheit ist in der Abbildung 100 dargestellt. Neben den Schlüsselversuchen, die unbedingt durchgeführt werden sollten, sind Exkurse zur Legung notwendiger Grundkenntnisse, zur Vertiefung oder als Übungsangebot aufgeführt. Im jeweiligen Abschnitt sind Anmerkungen auf die einzelnen Exkurse hinterlegt.

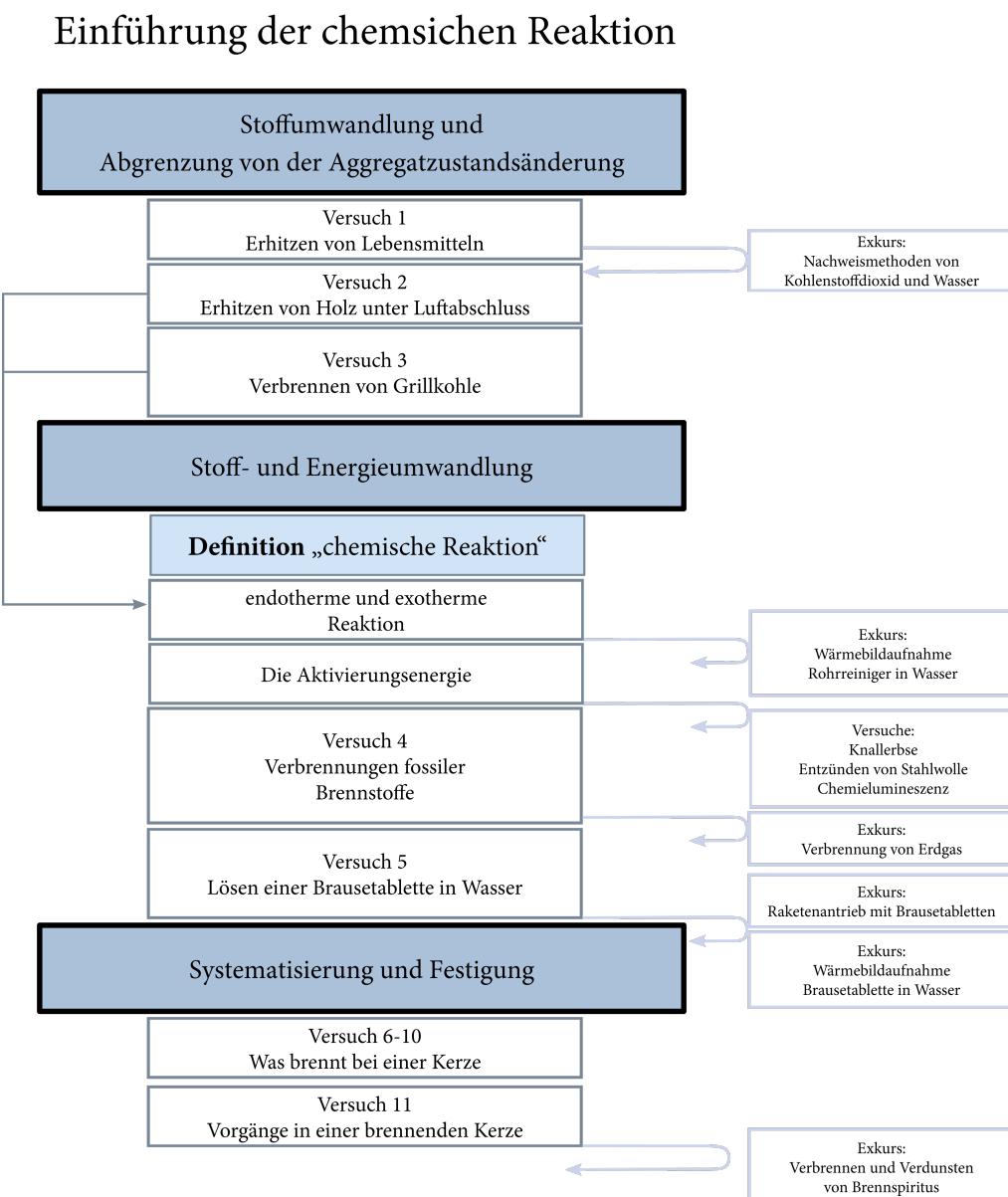


Abbildung 100: Übersicht zum Konzept zur Einführung der chemischen Reaktion

## 5.1 Stoffumwandlung und Abgrenzung von der Aggregatzustandsänderung

Die Merkmale der chemischen Reaktion und des daraus im Unterricht vermittelten Konzeptes stehen oft im Widerspruch zu den Schülervorstellungen und deren Aussagen.

So werden unter anderem Stoffumwandlungen:

- als Änderung der Eigenschaften der Stoffe gedeutet,
- als irreversible Zerstörung der Stoffe,
- als völlige Vernichtung der Stoffe,
- als Mischung und Entmischung von Stoffen oder
- als eine Aggregatzustandsänderung interpretiert [116, S. 205].

Aus den festgestellten Vorstellungen der Schüler:innen lassen sich entsprechende Vorgehensweisen ableiten, um diese Auffassungen nicht auftreten zu lassen bzw. zu korrigieren. Eine solche Notwendigkeit besteht besonders bei der Gestaltung von Lehr-Lernsequenzen für heterogene Lerngruppen. Zunächst soll dazu die Unterrichtseinheit beschrieben werden, um dann im darauffolgenden Kapitel Auszüge des differenzierten Materials vorzustellen.

Zu Beginn der Unterrichtseinheit zur Einführung der chemischen Reaktion untersuchen die Schüler:innen, wie sich unterschiedliche Stoffe verhalten, wenn diese erhitzt werden. Dazu werden Substanzen aus dem alltäglichen Leben, in diesem Fall verschiedene Lebensmittel, gewählt. Ziel des Versuchs ist, dass die Lernenden die Beobachtungen vor, während und nach dem Erhitzen miteinander vergleichen und zu der Erkenntnis kommen, dass sich verschiedene Stoffe unterschiedlich verhalten. Aufgrund des vorangegangenen Unterrichtes sind den Schüler:innen die Stoffeigenschaften, die Aggregatzustände und Aggregatzustandsänderungen sowie die Teilchenvorstellung bekannt. Mithilfe dieser Vorkenntnisse sind sie in der Lage, die Stoffeigenschaften während des Versuchs zu identifizieren sowie zu schlussfolgern, dass bei einigen Substanzen eine Aggregatzustandsänderung stattfindet. Es ergibt sich aus der Beobachtung die Fragestellung, welcher Prozess bei den anderen Stoffen abläuft.

## Versuch 1: Erhitzen von Lebensmitteln

### *Schülerexperiment*

**Geräte:** Brenner, Reagenzglasklammer, 4 Duran-Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Pipette, 2 50-mL-Bechergläser, Spatel, Trichter, Feuerzeug

**Chemikalien:** Wasser, Milch, Salz, Zucker

**Durchführung:** Die vier Reagenzgläser werden mit den Stoffproben Milch, Wasser, Zucker und Salz gefüllt. Dazu werden mithilfe der Pipetten 0,5 mL Wasser und 0,5 mL Milch abgemessen und jeweils in ein Reagenzglas gegeben. Anschließend werden in die jeweils anderen zwei Reagenzgläsern ca. 0,5 cm hoch Salz und Zucker gegeben. Nun wird der Brenner entzündet und eine leuchtende Flamme eingestellt, in der die Stoffprobe Zucker erhitzt wird. Anschließend werden die Flüssigkeiten Wasser und Milch erhitzt, ohne einen Siedeverzug hervorzurufen. Zum Schluss wird das Salz mit einer rauschenden Flamme erhitzt, bis es schmilzt.

### **Beobachtung:**

**Zucker** liegt, wie Salz, als weißer, pulverförmiger kristalliner Feststoff vor. Wird die Stoffprobe in die Sparflamme gehalten, verflüssigt sich diese. Anschließend wird die Flüssigkeit leicht bräunlich und ein Karamellgeruch ist wahrnehmbar. Wird die Probe weiter erhitzt, entstehen weiße Dämpfe, die nach oben steigen, sowie ein schwarzer Feststoff, der sich an der Reagenzglasinnenwand festsetzt.

**Wasser** liegt als klare, farblose Lösung vor. Wird dieses erhitzt, kommt es zur Blasenbildung und Dampf steigt auf. Im oberen Teil des Reagenzglases bildet sich an der Innenwand des Reagenzglases ein Flüssigkeitsfilm, bestehend aus einer farblosen, klaren Flüssigkeit. Größere Tropfen fließen wieder zurück an den Reagenzglasboden. Des Weiteren verlässt Dampf das Reagenzglas durch die Reagenzglasöffnung. Sobald man mit dem Erhitzen aufhört, steigt kein Dampf auf und die Bläschenbildung endet. Das Wasser liegt nach dem Erhitzen wieder im flüssigen Ausgangszustand vor.

**Milch** liegt zu Beginn als weiße Flüssigkeit vor. Wie auch bei dem Wasser kommt es zur Blasenbildung und Dampfentwicklung, sobald die Stoffprobe in der Flamme erhitzt wird. Die Milch steigt mit der Blasenbildung nach oben, sodass sich an der Reagenzglasinnenwand ebenfalls Milch ansammelt, die wieder zurück zum Reagenzglasboden läuft. An dem Boden bildet sich ein fester und brauner Niederschlag, gleichzeitig entsteht ein süßlicher Geruch. Bei

weiterem Erhitzen wird die Milch immer dunkler, bis ein schwarzer Feststoff entsteht sowie unangenehm riechende Dämpfe.

**Salz** liegt als weißer, pulverförmiger, kristalliner Feststoff vor. Nachdem die Stoffprobe in die rauschende Brennerflamme gehalten und punktuell erhitzt wird, beginnt es deutlich im Reagenzglas zu knistern. Anschließend schmilzt das Salz und es liegt eine farblose, klare Flüssigkeit vor. Wird das Erhitzen beendet, erstarrt die Flüssigkeit zu einem weißen Feststoff.

### **Wesentliche Lerninhalte:**

Die Beobachtungen bei Wasser und Salz sind als Aggregatzustandsänderungen zu interpretieren.

**Wasser** liegt bei einer Raumtemperatur von ca. 21 °C im flüssigen Aggregatzustand vor und erreicht durch kontinuierliches Erhitzen eine Temperatur von 100 °C, bei der es gasförmig vorliegt. Der Wasserdampf steigt nach oben und kondensiert an der kühleren Innenwand des Reagenzglases oder steigt aus dem Reagenzglas empor.

**Salz** ändert ebenfalls durch Erhitzen seinen Aggregatzustand und wird bei einer Temperatur von 801 °C flüssig. Im flüssigen Aggregatzustand erscheint es klar und farblos. Erstarrt und kristallisiert Natriumchlorid, bildet sich eine feste Masse, die durch Unregelmäßigkeiten in der Struktur weiß erscheint. Beide Vorgänge sind als Änderung des Aggregatzustandes erkennbar.

Bei **Milch** und **Zucker** findet zunächst eine Aggregatzustandsänderung statt, die mit einer anschließenden Stoffumwandlung einhergeht. Danach verändern sich die Stoffe erkennbar und es entstehen neue Stoffe mit anderen Eigenschaften. Es findet eine **Stoffumwandlung** statt und ist ein Merkmal der **chemischen Reaktion**.

Die während des Erhitzens der Stoffproben beobachteten Prozesse können nun entweder als Aggregatzustandsänderung oder als Stoffumwandlung identifiziert werden.

Im Anschluss werden die Stoffumwandlungen und die entsprechenden Wortgleichungen, mit den aus der Semiotik folgerichtigen Symbolen, formuliert, z. B.:

**Stoffumwandlung:**

Zucker reagiert zu **Kohle** und **weißen, übelriechenden Dämpfen**.

**Wortgleichung:** „reagiert zu“ „und“

**Stoffumwandlung:**

Milch reagiert zu **Kohle** und **weißen, übelriechenden Dämpfen**.

**Wortgleichung:** „reagiert zu“ „und“



**Praktischer Hinweis:** Die Reagenzgläser mit den Mengen sollten vor der Durchführung von der Lehrkraft vorbereitet bzw. die Mengenangaben mit den Schüler:innen besprochen werden.

**Hinweis auf den Exkurs:**

Nach der Einführung der Stoffumwandlung als Merkmal der chemischen Reaktion sind für entstehende Reaktionsprodukte Nachweismethoden/Nachweisreaktionen unabdingbar. Bereits zu Beginn des Chemieunterrichts können erste Nachweismethoden eingeführt werden, wenn die Schüler:innen die Stoffeigenschaften verschiedener Substanzen bestimmen. Falls die Nachweismethoden für Wasser und Kohlenstoffdioxid bisher nicht behandelt wurden, sollten an dieser Stelle, für den späteren Verlauf des Unterrichtes, die Methoden eingeführt werden. Im Exkurs befinden sich für beide Komponenten entsprechende Versuche, die als Demonstrations- oder Schülerexperiment durchgeführt werden können.

Mit dem vorangegangenen Versuch vergleichen die Lernenden das Erhitzen von unterschiedlichen Ausgangsstoffen. Außerdem werden die Aggregatzustandsänderung an den Beispielen Wasser und Salz wiederholt und ein grundverschiedener Prozess, die chemische Reaktion, eingeführt. Mittels dieses Grundwissens sind die Schüler:innen in der Lage, die chemische Reaktion von der Aggregatzustandsänderung (physikalischer Prozess) abzugrenzen.

Im weiteren Verlauf der Unterrichtseinheit wird die chemische Reaktion in den Fokus der nachfolgenden Versuche gesetzt. Mit dem Blick auf das Gesamtkonzept soll der Partygedanke weiter aufgegriffen werden, indem der Grill in Betrieb genommen wird. Ein notwendiger Stoff dafür ist die Grillkohle, welche in einem technischen Verfahren produziert wird, um sie anschließend zu verpacken und zu verkaufen. Als ein möglicher Unterrichtseinstieg bietet es sich an, diese Produktion zu untersuchen. Dazu muss zunächst der Prozess „Verkohlung“ thematisiert werden. Dies kann beispielsweise durch einen aufbereiteten Lehrervortrag oder einen Kurzfilm erfolgen. Es ist darauf zu achten, dass den Schüler:innen verständlich vermittelt wird, dass als Ausgangsstoff Holz genutzt wird. Der Prozess der Verkohlung muss auf das Grundprinzip reduziert werden, da eine Unterteilung in die unterschiedlichen Techniken wie historische Meilerverfahren (Erdmeiler, gemauerter Meiler, transportierbarer metallischer Meiler), indirekt beheizte Retortenverfahren (chargenweise Retortenverkohlung, kontinuierliche Retortenverkohlung), direkte beheizte Retortenverfahren oder Spülgasverfahren (Reichert-Retorte, SIFIC-Prozess, CISR-Lambotte-Retorte) und sonstige Verfahren nicht zielführend ist (nach [117, S. 394]). Es kommt lediglich darauf an, dass die Lernenden begreifen, dass der Prozess unter Sauerstoffabschluss und in Abhängigkeit bei hohen Temperaturen abläuft.

Der von den Schüler:innen durchzuführende Versuch „Verschwelen von Holz“ zeigt im verkleinerten Maßstab die Herstellung von Grillkohle aus Holz. Ziel ist, dass die Lernenden aus den Beobachtungen des Prozessverlaufes die richtigen Schlussfolgerungen ziehen, dass aus den Ausgangsstoffen neue Stoffe mit anderen Eigenschaften entstehen. Des Weiteren müssen sie die entsprechende Wortgleichung formulieren.

Nebenbei erkennen die Schüler:innen, dass sie für den Ablauf ständig Energie in Form von Wärme hinzugeben. Durch diese Vorgehensweise wird das Wissen über die chemische Reaktion gefestigt und sie bildet zeitgleich die Basis für die spätere Einführung der endothermen Reaktion.

## Versuch 2: Erhitzen von Holz unter Luftabschluss

*Schülerexperiment nach Collin [73, S. 103]*

**Geräte:** 1 Reagenzglas, Reagenzglasklammer, Brenner, Holzspan, weißes Blatt Papier

**Chemikalien:** Papierstücke, Holz (z.B. zerbrochener Holzspan)

**Durchführung:** Der zerkleinerte Holzspan wird im Reagenzglas mit einer rauschenden Flamme erhitzt. Während des Erhitzens wird mehrmals ein

brennender Holzspan an die Reagenzglasmündung gehalten., bis sich die austretenden Dämpfe entzünden. Ist trotz Erhitzen keine Veränderung mehr zu sehen, lässt man das Reagenzglas abkühlen und kippt den Inhalt vorsichtig auf ein weißes Blatt Papier aus.

**Beobachtung:** Beim Erhitzen von Holz entstehen gelb-weiße, brennbare Dämpfe, die sich an der Reagenzglasmündung entzünden lassen und mit einer orangen Flamme verbrennen. Es bleiben am Ende ein fester, schwarzer Rückstand und eine teerartige Flüssigkeit übrig. Der schwarze Rückstand hinterlässt z.B. auf Papier schwarze Striche. Die verkohlten Holzspäne erinnern an Zeichenkohle.

**Wesentliche Lerninhalte:** Aus den Beobachtungen ist festzuhalten, dass eine Stoffumwandlung stattgefunden hat. Während des langsamen Erhitzens des Holzes sind die Reaktionsprodukte brennbare Gase, eine teerartige Flüssigkeit und ein schwarzer Rückstand entstanden.

Die Lernenden haben durch den vorangegangenen Versuch Kohle hergestellt. Nach dem Gesamtkonzept „Chemie fürs Leben“ stellt dieses Produkt für den weiteren Unterricht einen Anknüpfungspunkt dar. Nun soll das Grillen an sich genauer untersucht werden [73, S. 98]. Dazu kann nach dem forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren eine Sicherheitsmaßnahme als Problemgrund dienen:

- *Warum soll man niemals in geschlossenen Räumen grillen? [118]*

Initiiert durch dieser Problemformulierung sollen die Schüler:innen das Verbrennen von Grillkohle untersuchen und dabei überprüfen, ob eine Stoffumwandlung stattfindet und ob beim Verbrennen von Grillkohle noch Gase entstehen.

Den Schüler:innen sind durch die vorherige ausführliche Behandlung von gasförmigen und flüssigen Stoffen nach dem Konzept „Chemie fürs Leben“ die Nachweismethode für Kohlenstoffdioxid und Wasser bekannt. Falls die Schüler:innen diese Methoden nicht kennen, können sie sich diese mit dem sich im Anhang befindenden Exkurs zu Nachweismethoden von Kohlenstoffdioxid und Wasser aneignen.

Sollte im Anschluss Unterrichtszeit zur Verfügung stehen, kann kurz betrachtet werden, welche unterschiedlichen Holzarten zur Produktion von Kohle verwendet werden. Eine Grundlage dazu bieten Marktanalysen wie, z.B. von WWF Deutschland. Hierbei wird verdeutlicht, dass die Herstellung von Grillköhlen aus Hölzern wie Esche, Birke, Weißeiche, Kiefer, Hainbuche,

Nadelhölzer, Kastanie, Erle, Ahorn, Pappel sowie Holz aus tropischen und subtropischen Regionen verwendet wird [119, S. 13]. Es sollte im Sinne der Nachhaltigkeit erwähnt werden, dass beim Kauf von Grillkohle auf FSC-zertifizierte Produkte zu achten ist [119, S. 43].

### Versuch 3: Verbrennen von Grillkohle

*Demonstrations-/ Schülerexperiment nach Collin [73, S. 98]*

**Geräte:** 1 50-mL-Spritze, Schlauchadapter, Silikonschlauch, Trichter, Dreifuß mit Metallgitter, Porzellanschale, Brenner, Reagenzglasständer, Reagenzglas, Kanüle (0,8x120 mm) oder Heidelberger-Verlängerung (15 cm)

**Chemikalien:** 1 Stück Grillkohle (Kohle), Calciumhydroxid-Lösung

(GHS05 ◊!, GHS07 ◊ )

**Praktische Hinweise:** Die Qualitäten der Grillkohle unterscheiden sich. Es ist zu empfehlen, eine Grillkohle zu verwenden, bei der *keine* starke Rauchentwicklung entsteht. Zur Entzündung der Grillkohle ist ein Mikroflammbrenner zu empfehlen.

**Durchführung:** Auf den Dreifuß mit Metallgitter wird ein Stück Grillkohle gelegt. Darunter befindet sich die Porzellanschale, die dem Auffangen von herunterfallender Asche dient. Der Trichter wird mit dem Silikonschlauch verbunden. An das andere Ende des Schlauches wird die 50-mL-Spritze arretiert. Mittels dieser Apparatur sollen eventuell entstehende Gase aufgefangen werden. Die aufgelegte Grillkohle wird nun mit dem Brenner bis zur Rotglut erhitzt. Nach Entfernen des Mikroflammbrenners kann durch weiteres „Anblasen“ gezeigt werden, dass die Grillkohle weiter glüht. Über den Dreifuß wird zum Auffangen der entstehenden Gase der Trichter mit der angeschlossenen Spritze gehalten und der Spritzenstempel langsam herausgezogen. Der Schlauchadapter mit dem Silikonschlauch wird entfernt und eine Kanüle oder eine Heidelberger-Verlängerung geschraubt. Die an der Spritze befestigte Kanüle/Heidelberger-Verlängerung wird nun in das Reagenzglas mit der Calciumhydroxid-Lösung gehalten und der Spritzeninhalt in die Lösung eingeleitet.

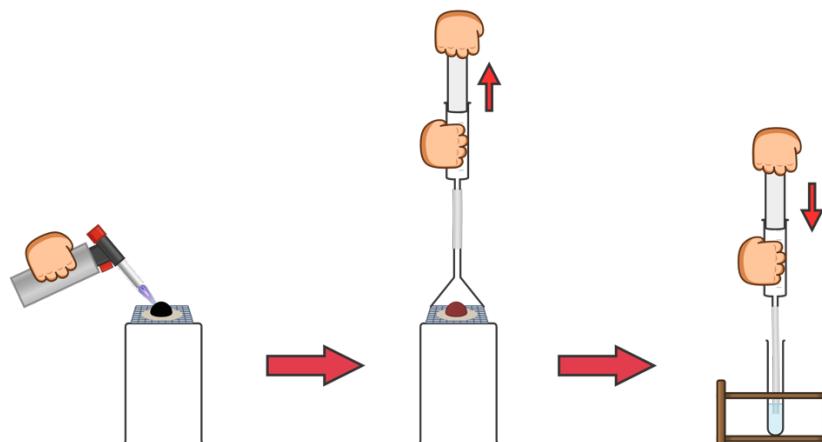
**Versuchsaufbau:**

Abbildung 101: Versuchsaufbau Verbrennen von Grillkohle

**Beobachtung:** Durch das Erhitzen der Grillkohle wird diese zum Glühen gebracht. Nach anschließendem Entfernen des Mikroflammbrenners lässt das Glühen nach. Dabei ist immer eine Wärmeabgabe wahrnehmbar. Durch das „Anblasen“ der Grillkohle wird die Rotglut und die Wärmeabgabe intensiviert. Das mit der Spritze aufgefangene Gas ist farblos. Die Calciumhydroxid-Lösung trübt sich durch das Einleiten des Gases aus der Spritze milchig-weiß.

**Wesentliche Lerninhalte:** Beim Verbrennen von Grillkohle reagieren die Ausgangsstoffe Grillkohle und Sauerstoff zu den Reaktionsprodukten Asche und Kohlenstoffdioxid. Letzteres lässt sich eindeutig durch das Einleiten des aufgefangenen Gases in die Calciumhydroxid-Lösung nachweisen, da sich hier ein milchiger Niederschlag entsteht. Die Beobachtungen und daraus resultierenden Schlussfolgerungen werden protokolliert.

Eine andere Variante, den Versuch durchzuführen, wird im Exkurs vorgestellt. Die Schüler:innen sollten, nachdem sie die Reaktionsprodukte bei der Verbrennung von Grillkohle identifiziert haben, die Eingangsfrage „*Warum soll man niemals in geschlossenen Räumen grillen?*“ mit den entsprechenden Konsequenzen bei Verstoß gegen diese Regel beantworten können (nach [118]). Es können im Anschluss weitere Fragen, zum Beispiel zur Inbetriebnahme eines Kamins thematisiert werden und warum diese sinnvoll sind.

- *Warum haben Kamine einen Schornstein?*
- *Warum wird empfohlen, Warnmelder in der Wohnung zu installieren, wenn ein Kamin in Betrieb genommen wird?*

Das Merkmal der Stoffumwandlung bei einer chemischen Reaktion ist den Lernenden an mehreren Beispielen bewusst geworden. Im nächsten Lernschritt

wird die Definition der chemischen Reaktion um das Merkmal der Energieumwandlung erweitert. Im Speziellen werden an dieser Stelle die „Verkohlung von Holz“ und die „Verbrennung von Holzkohle“ verglichen und die chemische Reaktion in die endotherme und die exotherme Reaktion unterteilt. Gleichzeitig werden die bereits eingeführten Enthalpie-Diagramme (siehe 3.4 S.96) für beide Reaktionsarten erstellt und im Anschluss auf die Aktivierungsenergie eingegangen.

## 5.2 Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen

Die Schüler:innen haben im bisherigen Unterrichtsverlauf Grillkohle durch das Verschwelen von Holz hergestellt und anschließend Grillkohle verbrennen lassen. Bei der Herstellung der Grillkohle haben sie festgestellt, dass ständig Energie in Form von Wärme hinzugefügt werden musste, damit die chemische Reaktion ablaufen kann. Wird die Wärmezufuhr unterbrochen, findet keine Umwandlung der Ausgangsstoffe statt. Während das Verkohlen von Holz unter ständiger Wärmezufuhr stattfand, wurde beim Verbrennen von Grillkohle, nach anfänglicher Aktivierung, Wärme und Licht abgegeben.

Den Schüler:innen sind **Enthalpie-Diagramme aus den Aggregatzustandsänderungen bekannt**. An dieses Wissen anknüpfend werden die Enthalpie-Diagramme für die Versuche „Verschwelen von Holz“ und „Verbrennen von Grillkohle“ erstellt. Dazu werden die energetischen Anfangs- und Endzustände der Ausgangsstoffe und Reaktionsprodukte der Versuche in das Enthalpie-Diagramm eingezeichnet. Durch das Enthalpie-Diagramm wird veranschaulicht, dass Energie entweder aufgenommen oder abgegeben wird.

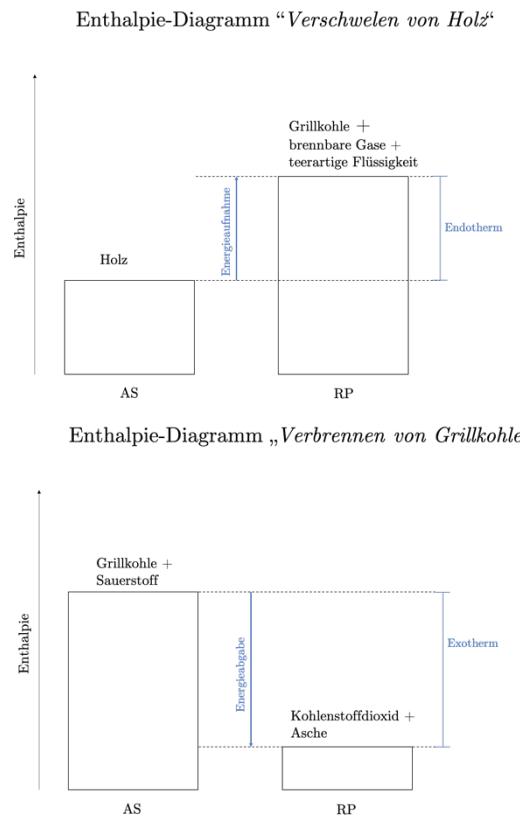


Abbildung 102: Enthalpie-Diagramme für die Versuche „Verschwelen von Holz“ und „Verbrennen von Grillkohle“

An dieser Stelle kann nun die Definition der chemischen Reaktion mit den Merkmalen der Stoff- und Energieumwandlung eingeführt werden. Eine Definitionsvariante kann die folgende sein:

„**Chemische Reaktionen** sind Vorgänge bei denen aus den Ausgangsstoffen neue Stoffe mit anderen Eigenschaften (Reaktionsprodukte) entstehen.“

Jede chemische Reaktion ist gekennzeichnet durch eine **Stoff-** und **Energieumwandlung**.“

Nun wird für die Energieaufnahme bei einer chemischen Reaktion der Begriff *endotherm* und für die Energieabgabe bei einer chemischen Reaktion der Begriff *exotherm* eingeführt. Damit lässt sich das Merkmal der Energieumwandlung bei einer chemischen Reaktion weiter differenzieren und es können für die Reaktionen folgende Merksätze formuliert werden:

„Eine **endotherme Reaktion** ist eine chemische Reaktion, bei der **Energie** aus der **Umgebung aufgenommen** wird.“

Die Enthalpie der Ausgangsstoffe ist kleiner als die Enthalpie der Reaktionsprodukte.“

„Eine **exotherme Reaktion** ist eine chemische Reaktion, bei der **Energie** an die **Umgebung abgegeben** wird.“

Die Enthalpie der Ausgangsstoffe ist größer als die Enthalpie der Reaktionsprodukte.“

Nach Einführung der chemischen Reaktion mit den beiden Merkmalen Stoffumwandlung und Energieumwandlung soll im darauffolgenden Lernschritt die Aktivierungsenergie als Teil der Energieumwandlung von chemischen Reaktionen vermittelt werden.

### 5.3 Die Aktivierungsenergie

Zur Einführung der Aktivierungsenergie wird erneut an die vorangegangenen Beispiele „Verschwelen von Holz“ und „Verbrennen von Grillkohle“ angeknüpft. Dabei kann der folgende Problemgrund aufgeworfen werden:

- Um den Grill in Betrieb zu nehmen, wird die Grillkohle in den Grill hineingeschüttet und die Frage an die Lernenden gestellt: Warum brennt die Grillkohle nicht spontan ab und gibt die nötige Wärmeenergie zur Zubereitung von Lebensmitteln frei?

Sicherlich werden die Schüler:innen antworten, dass diese angezündet werden muss, um zu verbrennen. Die Lernenden kennen durch ihre Alltagserfahrung, dass die Grillkohle mittels unterschiedlicher Methoden entzündet werden kann, z. B.:

- Anzündwürfel auf Petroleumbasis,
- Anzünder aus Holzwolle und Wachs,
- elektrischer Grillanzünder,

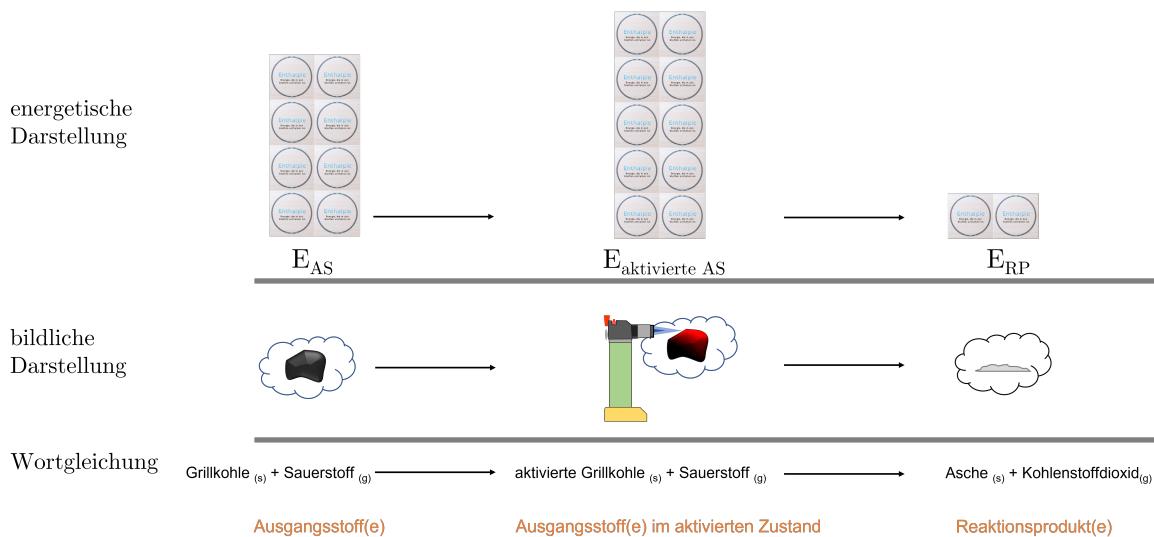
- die „chilenische“ Methode<sup>19</sup> oder eine
  - Propangasflasche mit Abflammgerät.

Selbst hier stellt sich heraus, dass diese Anzündhilfen nicht spontan Wärme abgeben, sondern selbst entzündet werden müssen. Die Schüler:innen kennen bereits aus dem vorangegangenen Unterricht verschiedene Energieformen, sodass sie zu dem Schluss kommen, dass thermische Energie (Wärmeenergie) nötig ist, um die Grillkohle zu entzünden. An dieser Stelle kann der Aufbau gängiger Zündquellen wie das Feuerzeug betrachtet werden. So besitzen die meisten Feuerzeuge ein Piezo-Zündelement oder einen Feuerstein, die bei Betätigung die nötige Entzündungstemperatur des ausströmenden Feuerzeuggases liefern.

Es kann dabei grundlegend festgehalten werden, dass zunächst Energie benötigt wird, um die Grillkohle zu entzünden. Bei dieser exotherm ablaufenden Reaktion kann auf die nachfolgende Weise die Aktivierungsenergie eingeführt werden.

### 5.3.1 Darstellung der Aktivierungsenergie einer exothermen Reaktion

Mithilfe der Energiewürfel kann modellhaft die Aktivierung der Ausgangsstoffe und der weitere Verlauf einer chemischen Reaktion unter dem Fokus der energetischen Ebene dargestellt werden.



**Abbildung 103:** Darstellung einer exothermen Reaktion auf mehreren Darstellungsebenen

<sup>19</sup> Um eine Glasflasche werden einzelne Zeitungspapierstreifen nacheinander gewickelt. Die präparierte Glasflasche wird in die Mitte des Grills gestellt. Anschließend wird um die Glasflasche herum die Grillkohle geschüttet. Die Glasflasche wird zum Schluss vorsichtig herausgezogen und das Zeitungspapier mit einem Feuerzeuge entzündet.

**Wortgleichung:** Zunächst liegen die Ausgangsstoffe Grillkohle und Sauerstoff in der Wortgleichung vor. Im Verlauf werden diese Komponenten aktiviert, symbolisch durch einen Reaktionspfeil dargestellt. Der Ausgangsstoff Grillkohle wird nun als „aktivierte Grillkohle“ bezeichnet und die chemische Reaktion läuft ab, sodass die Reaktionsprodukte Asche und Kohlenstoffdioxid entstehen.

**Bildliche Darstellung:** In dieser wird die Grillkohle durch eine Vektorzeichnung wiedergegeben. Der Sauerstoff hingegen kann als farbloses Gas nur symbolisch abgebildet werden. In diesem Fall erfolgt die ikonische Darstellung als Wolke mit einer blauen Umrandung, der die Grillkohle „umhüllt“. Hierbei wird auf den tatsächlichen Gehalt des Sauerstoffes in der Luft verzichtet sowie auf die weiteren Bestandteile, da sie keine notwendigen Ausgangsstoffe für die ablaufende chemische Reaktion sind. Die Grillkohle wird entzündet und aktiviert. Ikonisch ist ein Mikroflammbrenner mit einer rauschenden Flamme abgebildet. Diese entzündet die von Sauerstoff umhüllte Grillkohle. Bildlich betrachtet verändert sich die Grillkohle, indem diese rot aufglüht.

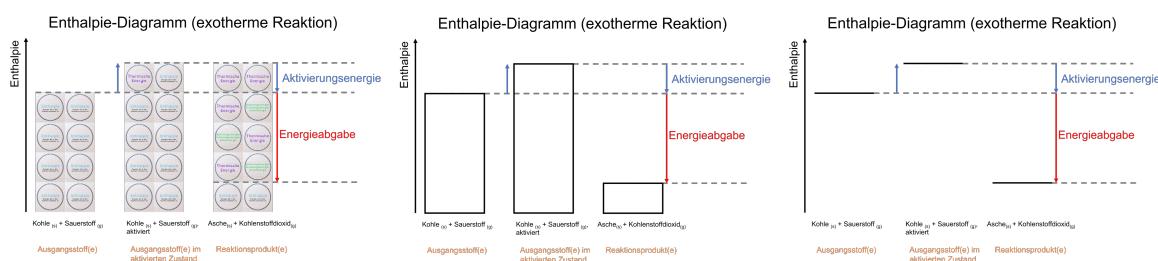
**Energetische Darstellung:** Auf der energetischen Ebene sind die Enthalpien beider Stoffe zur Vereinfachung zusammengefasst und mehrere Energiewürfel übereinander gestapelt. Der Verzicht, die Enthalpie des Feuerzeuggases (Propan/Butan-Gemisch) wiederzugeben, sowie die Umwandlung in die benötigte thermische Energie, geschieht aus Gründen der didaktischen Reduktion. Der Fokus ist darauf gelegt, dass durch Entzünden des Mikroflammbrenners die nicht zu entbehrende thermische Energie geliefert wird. Die freiwerdende thermische Energie der Flamme liefert die notwendige Energiemenge zur Aktivierung der chemischen Reaktion.

Die Aktivierungsenergie in Form von thermischer Energie wird auf die Enthalpie der Ausgangsstoffe gesetzt und wandelt sich dabei in Enthalpie um. Dazu werden die zwei Energiewürfel der thermischen Energie in Enthalpie umgewandelt. Die Enthalpie der Ausgangsstoffe im aktivierte Zustand ist nun größer als die Enthalpie der Ausgangsstoffe vor der Aktivierung.

Die hinzugefügte Energie in Form von Wärme reicht nun aus, die Reaktion ablaufen zu lassen. Folglich werden die aktivierte Ausgangsstoffe zu ihren Reaktionsprodukten unter Wärmeabgabe umgesetzt. Es findet eine exotherme Reaktion statt und neue Stoffe mit anderen Eigenschaften entstehen. Auf der bildlichen Ebene erscheinen die Reaktionsprodukte Asche und Kohlenstoffdioxid. Dabei wird die Asche durch eine Vektorzeichnung abgebildet und analog zum Sauerstoff wird das entstehende Kohlenstoffdioxid als Wolke mit einer schwarzen Umrandung dargestellt, die die Asche umhüllt.

Energetisch betrachtet bleiben zwei Energiewürfel übrig, die die Enthalpie der Reaktionsprodukte symbolisieren.

Im Anschluss an die beschriebene schrittweise Erläuterung zum Ablauf einer exothermen chemischen Reaktion bietet es sich an, das entsprechende Enthalpie-Diagramm aufzustellen. An dieser Stelle des Unterrichtsverlaufes können die Säulendiagramme durch die vereinfachte Darstellung von Energieniveau-Diagrammen ersetzt werden. Eine entsprechende Darstellung dazu kann wie folgt aussehen:



**Abbildung 104: Enthalpie-Diagramme exotherme Reaktion (Energiewürfel, Säulen-Diagramm und Enthalpie-Diagramm)**

Aus dem Säulendiagramm wurden die Kästen entfernt und nur die oberen Markierungen bleiben erhalten.

Zwischen beiden Varianten kann im Laufe des Unterrichts gewechselt werden. Die deckungsgleiche Darstellung hat den Vorteil, dass die Schüler:innen das abgewandelte Diagramm zur Darstellung von Enthalpie schneller adaptieren können.

Die Aktivierungsenergie spielt ebenso bei endothermen Reaktionen eine bedeutende Rolle. Bei der endothermen Reaktion wird Energie aus der Umgebung ständig aufgenommen. Lediglich die Aktivierungsenergie wird im Anschluss abgegeben. Die ist eine Schlüsselstelle, die von Schüler:innen schwer nachzuvollziehen ist. Ein Grund dafür ist, dass sich das Reaktionsgemisch zunächst abkühlt, wie zum Beispiel beim Lösen einer Brausetablette. Diese Abkühlung wird oft als Energieabgabe fehlinterpretiert. Um den Ablauf einer endothermen Reaktion leichter zu verstehen, wird deshalb an den Versuch „Langsames Erhitzen von Holz“ angeknüpft.

### 5.3.2 Darstellung der Aktivierungsenergie einer endothermen Reaktion

In der Abbildung 105 wird die schrittweise Darstellung der Aktivierungsenthalpie bei endothermen Reaktionen am Beispiel des Versuchs

„Erhitzen von Holz unter Luftabschluss“ beschrieben. Dabei werden erneut mehrere Ebenen betrachtet.

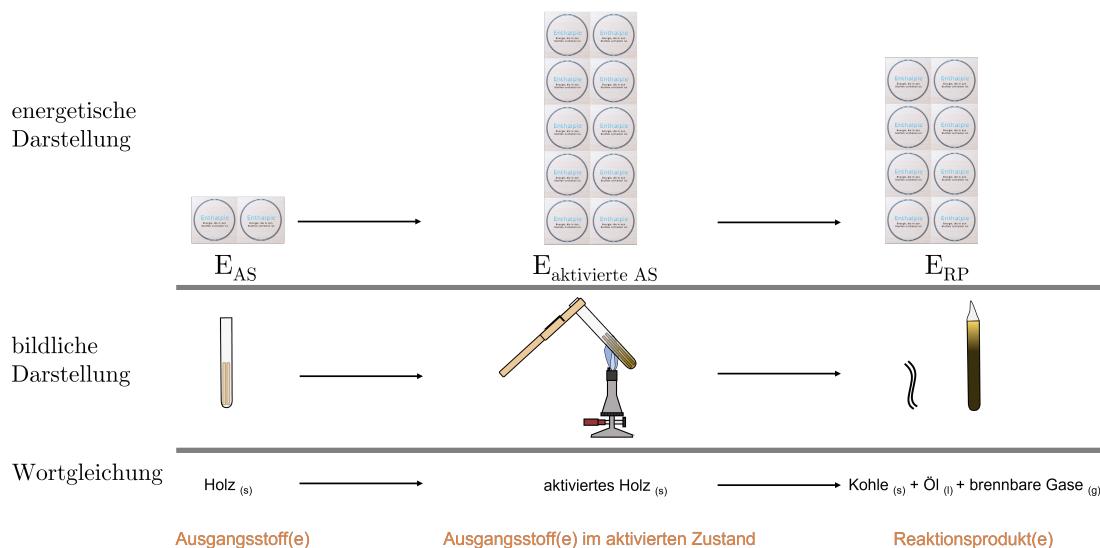


Abbildung 105: Darstellung einer endothermen Reaktion auf mehreren Darstellungsebenen

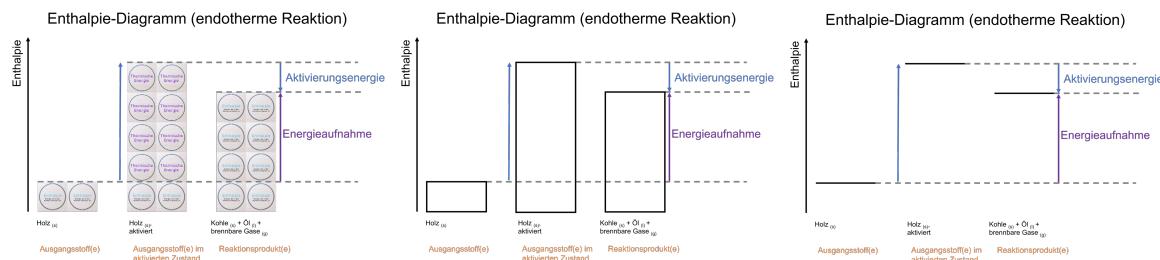
### Beschreibung der endothermen Reaktion:

Die Abbildung 105 ist ähnlich der Abbildung 103 zur Einführung der Aktivierungsenthalpie von exothermen Reaktionen. Deshalb wird hier nur auf den energetischen Aspekt eingegangen. Auf der abgegrenzten, energetischen Ebene ist die Enthalpie von Holz mit den bekannten Energiewürfeln unter Abbildung der Enthalpie dargestellt. Damit die Reaktion vonstatten geht, ist thermische Energie notwendige, um die Ausgangsstoffe in den aktivierte Zustand zu überführen. Diese Energie entstammt der Verbrennung von Methan in dem Brenner. Wie auch bei der exothermen Reaktion wird durch eine didaktische Reduktion auf die Umwandlung der Enthalpie des Methans in thermische Energie verzichtet.

Diese aufgenommene thermischen Energie wird in Enthalpie umgewandelt. Es findet eine Energieaufnahme statt. Bildlich zeigt sich dieser Zustand so, dass eine Verdunklung des Reagenzglases und der Holzkohle stattfindet und an der Reagenzglasöffnung brennbare Gase durch eine Vektorzeichnung abgebildet werden. Das Holz besitzt an dieser Stelle die höchste Enthalpie und gibt im nächsten Reaktionsschritt einen Teil der aufgenommenen Energie ab. Dies ist symbolhaft so dargestellt, dass die Enthalpie in thermische Energie umgewandelt wird, den Verbund verlässt und an die Umgebung abgeben wird. Letztendlich liegt energetisch nur die Enthalpie der Reaktionsprodukte (brennbare Gase, Kohle und teerartige Flüssigkeit) vor, die im Vergleich zur

Enthalpie der Ausgangsstoffe größer ist und somit das entscheidende Merkmal der endothermen Reaktion offenbart.

Diese Erkenntnisse werden anschließend in einem Säulendiagramm festgehalten, welches dann in das Enthalpie-Diagramm überführt wird. Eine entsprechende Darstellung kann wie folgt gestaltet werden:



**Abbildung 106: Enthalpie-Diagramme endotherme Reaktion (Energiewürfel, Säulen-Diagramm und Enthalpie-Diagramm)**

Neben der Aktivierung der Ausgangsstoffe mit thermischer Energie gibt es weitere Möglichkeiten, Ausgangsstoffe in den aktivierte Zustand zu überführen. An dieser Stelle bietet es sich an, verschiedene Aktivierungsmöglichkeiten von exothermen Reaktionen anhand von Alltagsbeispielen zu behandeln:

- Entzünden von Wunderkerzen durch thermische Energie (Feuerzeug).
- Entzünden von Streichhölzern durch Reibung und durch thermische Energie.
- Entzünden von Stahlwolle mithilfe der elektrischen Energie.
- Aktivierung von Knallerbsen. Dies kann durch Werfen auf den Boden geschehen oder durch das Reiben zwischen dem Daumen und dem Zeigefinger.

Im Anschluss an diese Versuche lassen sich die Erkenntnisse zu der endothermen Reaktion vertiefen, indem die nachfolgenden Experimente durchgeführt werden.

Ein aus der Erfahrungswelt der Schüler:innen gegriffenes Beispiel ist das Kochen von Eiern in siedendem Wasser. Dieses Beispiel lässt sich in der Schule einfach nachstellen, indem ein mit Wasser gefülltes Becherglas auf eine Heizplatte gestellt und das Wasser zum Sieden gebracht wird. Gleichzeitig stellt man ein mit Eiklar gefülltes Reagenzglas in das siedende Wasserbad. Aufgrund der ständigen Energiezugabe handelt es sich dabei um eine endotherme Reaktion. Das Eiweiß denaturiert während des Vorganges und kann in seine Ursprungsform nicht zurückgeführt werden. Es ist ein neuer Stoff

mit anderen Eigenschaften entstanden. Nach diesem Versuch kann eine weitere Variante mit flüssigem Eiklar durchgeführt werden. In einer Schüssel schlägt man mithilfe eines Mixers/Schneebesens, flüssiges Eiklar steif. Durch diesen Prozess wird vermieden, dass die Lernenden davon ausgehen, dass eine endotherme Reaktion nur durch die Zugabe von thermischer Energie vonstattengehen kann. Aufgrund der Zugabe von mechanischer Energie wird das Eiklar ebenfalls denaturiert und verändert seine Eigenschaften.

Im weiteren Unterrichtsverlauf sollen die Schüler:innen experimentell ermitteln und entscheiden, ob es sich bei den stattfinden chemischen Reaktionen um eine exotherme oder eine endotherme Reaktion handelt. Dazu sollen die Lernenden mithilfe von vorgegebenen Materialien die ablaufende Reaktion auf stofflicher und energetischer Ebene untersuchen und die Ergebnisse festhalten. Des Weiteren besitzen die Lernenden Kenntnisse über die Nachweismethode von Kohlenstoffdioxid und Wasser und sollen diese anwenden.

#### Versuch 4: Verbrennung fossiler Brennstoffe

*Schülerexperiment (nach [73, S. 101])*

**Geräte:** hoher Standzylinder, passende Glasplatte, Teelicht-Gehäuse, Blumendraht, Nagel, Reagenzglas, Reagenzglasständer, Reagenzglasklammer, passender Stopfen, Feuerzeug, Gasbrenner, Holzspan

**Chemikalien:** Feuerzeugbenzin (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 ), Brennspiritus (GHS02 , GHS07 , Feuerzeuggas (GHS02 , GHS04 , Erdgas (GHS02 , GHS04 , Campinggas (GHS02 , GHS04 , Calciumhydroxid-Lösung (GHS05 , GHS07 , Watesmo-Papier

#### Durchführung:

*Vorbereitung:* In das Teelicht-Gehäuse werden mit dem Nagel zwei sich gegenüberliegende Löcher gebohrt. In diese Öffnungen werden die Blumendrähte befestigt, die dann als Halterungsbügel dienen.

*Verbrennung von festen und flüssigen Stoffproben:* In den Standzylinder werden wenige Milliliter der Calciumhydroxid-Lösung gegeben. Danach wird der zu verbrennende Stoff (Brennspiritus, Papier, Kerze, Feuerzeugbenzin) in das Teelicht-Gehäuse platziert. Anschließend wird die Konstruktion in den Standzylinder gehängt und die Stoffprobe entzündet. Nach kurzer Zeit wird die Glasplatte von der Seite auf den Standzylinder geschoben. Nachdem die Flamme erloschen ist, wird die Glasplatte abgenommen und das Teelicht-Gehäuse aus dem Standzylinder entfernt. Danach wird der Beschlag mit

Watesmo-Papier untersucht, um anschließend die Glasplatte aufzulegen und den verschlossenen Standzyylinder zu schütteln.

#### Versuchsaufbau:

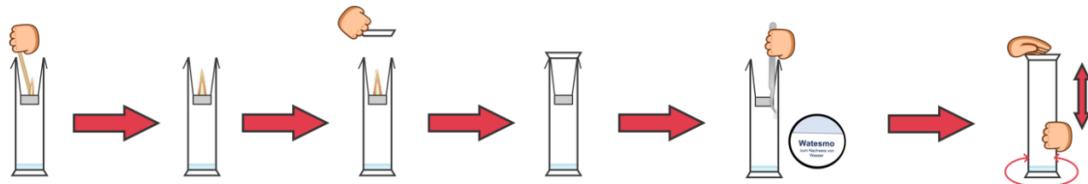


Abbildung 107: Versuchsaufbau Verbrennung von Feuerzeugbenzin

*Verbrennung von gasförmigen Stoffen:* Dazu hält man ein für die Flamme geeignetes Reagenzglas, mit der Öffnung nach unten, für ca. 5-10 Sekunden über die Flamme des Feuerzeugs oder des Gasbrenners. Anschließend wird Watesmo-Papier an die sich gebildete Flüssigkeit gehalten. Danach füllt man wenige Milliliter der Calciumhydroxid-Lösung in das entsprechende Reagenzglas und verschließt es mit einem Stopfen. Zum Schluss wird das Reagenzglas geschüttelt.

#### Versuchsaufbau:

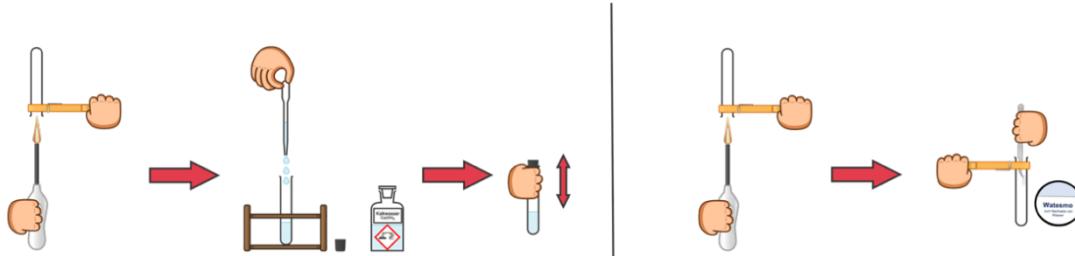


Abbildung 108: Versuchsaufbau Verbrennung von Feuerzeuggas

**Beobachtung:** Bei allen Stoffproben, die im Standzyylinder verbrennen, beschlägt zunächst von innen die Glaswand des Standzyinders. Das Watesmo-Papier färbt sich blau. Während des Schüttelns des Standzyinders trübt sich die Calciumhydroxid-Lösung weiß. Diese Beobachtungen sind auch bei der Verbrennung von gasförmigen Stoffen wahrzunehmen. Zunächst beschlägt die Innenwand des Reagenzglases, das Watesmo-Papier färbt sich bei Kontakt mit dem Beschlag blau und die zugegebene Calciumhydroxid-Lösung trübt sich nach dem Schütteln weiß.

**Wesentliche Lerninhalte:** Bei der Verbrennung von Feuerzeugbenzin, Brennspiritus, Feuerzeuggas, Erdgas und Campinggas entstehen immer Wasser und Kohlenstoffdioxid. Dabei wird Energie in Form von Wärme und Licht abgegeben.

Die Lernenden können zur Auswertung des Versuchs das entsprechende Enthalpie-Diagramm erstellen. In Abbildung 109 ist das Enthalpie-Diagramm für die Reaktion von Feuerzeugbenzin mit Sauerstoff in den verschiedenen Zuständen (Ausgangszustand, aktivierter Zustand und Endzustand) dargestellt:

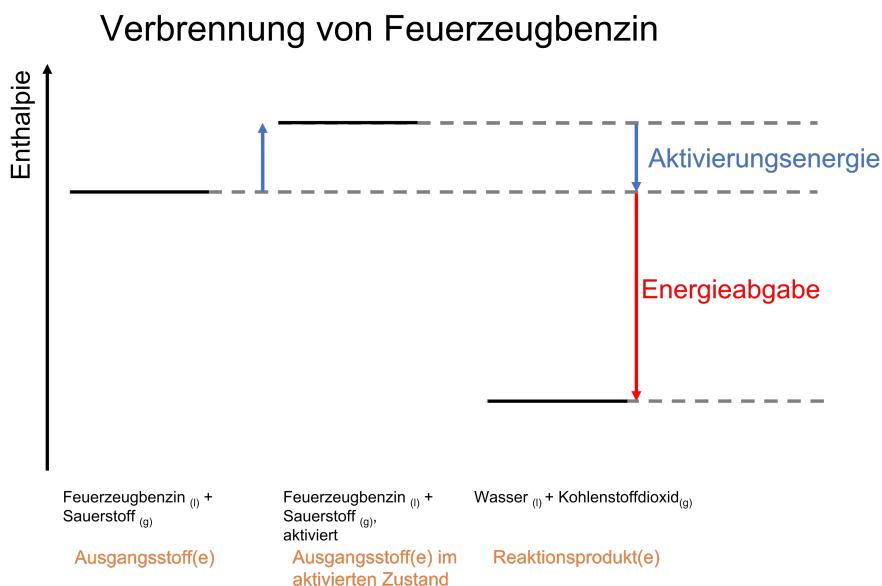


Abbildung 109: Enthalpie-Diagramm Verbrennung von Feuerzeugbenzin

#### Hinweis auf den Exkurs:

Das bei den Verbrennungen aus Brennmaterial und Sauerstoff entstandene Wasser kann durch die Thermik schnell verdampfen. Aus diesem Grund kann für den eindeutigen Nachweis ein Experiment aus dem Exkurs „**Wassernachweis bei der Verbrennung von Erdgas**“ für den Wassernachweis bei Verbrennungen durchgeführt werden. Außerdem ist zu beachten, dass in den vorangegangenen Versuchen die Nachweise der einzelnen Reaktionsprodukte separat durchgeführt wurden. Um zu demonstrieren, dass sich die umgewandelten Stoffe nicht unabhängig voneinander bilden, sondern immer gemeinsam auftreten, können durch den Versuch „**Nachweis von Kohlenstoffdioxid und Wasser bei der Verbrennung von Erdgas**“ die beiden Nachweismethoden miteinander gekoppelt werden.

#### Versuch 5: Lösen einer Brausetablette in Wasser

*Demonstrationsexperiment*

**Geräte:** Standzyylinder, Stativ, Feuerzeug, Gasbrenner, Holzspan

**Chemikalien:** Erdgas (GHS02flammable, GHS04hazardous to the environment), Watesmo-Papier

### Durchführung:

**Vorbereitung:** Die Heidelberger-Verlängerung kann so präpariert werden, dass das nicht an die Spritze angeschlossene Ende mithilfe einer Schere abgeschnitten wird. In das Reagenzglas werden 3 ml der Calciumhydroxid-Lösung pipettiert.

Für die Durchführung werden 50 mL Leitungswasser in den Erlenmeyerkolben gegeben. Die Anfangstemperatur des Wassers wird aufgenommen und notiert. Im Anschluss wird eine ganze Brausetablette in das Wasser gegeben und die Temperatur ständig beobachtet. Der tiefste Wert wird notiert und die Differenz ermittelt.

### Versuchsaufbau:

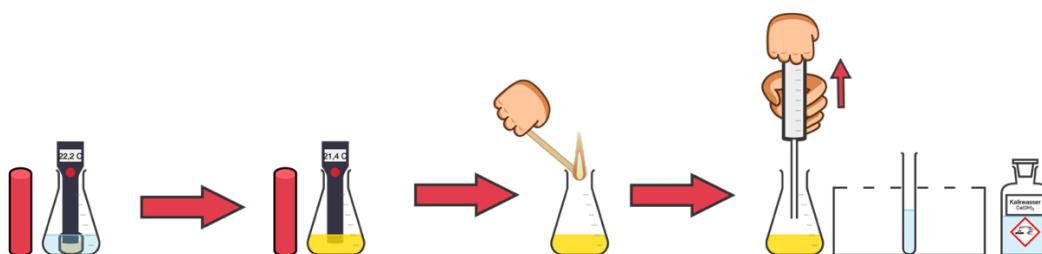


Abbildung 110: Versuchsaufbau Lösen einer Brausetablette in Wasser

Anschließend wird ein brennender Holzspan in den Erlenmeyerkolben gehalten. Danach erfolgt der Nachweis des Gases. Dazu werden, mit der Spritze und der Heidelberger-Verlängerung, ca. 30 mL Gas aus dem Erlenmeyerkolben aufgezogen. Dieses Gas wird dann in die Calciumhydroxid-Lösung eingeleitet.

**Beobachtung:** Die Brausetablette ist ein farbiger Feststoff in diesem Fall wurde eine orange Brausetablette verwendet.

Nach Zugabe der Brausetablette in das Leitungswasser beginnt dieses stark aufzusprudeln und eine deutliche Schaum-/ Bläschenbildung ist zu erkennen. Gleichzeitig verfärbt sich das klare, farblose Leitungswasser zu einer farbigen (orangen) Lösung. Mithilfe des Thermometers zeigt sich bei dem Löseprozess eine Temperatursenkung von ca. 2 °C. Sobald der brennende Holzspan in den Erlenmeyerkolben gehalten wird, erlischt dieser. Die klare, farblos Calciumhydroxid-Lösung wird nach Einleiten des farblosen und geruchlosen Gases milchig trüb.

**Wesentliche Lerninhalte:** Kommt eine Brausetablette mit Wasser in Kontakt, löst diese sich und es entstehen die Reaktionsprodukte Brause und Kohlenstoffdioxid. Letzteres ist für die Bildung der Blasen verantwortlich.

Gleichzeitig ist eine Temperatursenkung messbar, das lässt auf eine endotherme Reaktion schließen.

Im Anschluss können die Schüler:innen für diesen Versuch das Enthalpie-Diagramm als Enthalpie-Diagramm erstellen (siehe Abbildung 111).

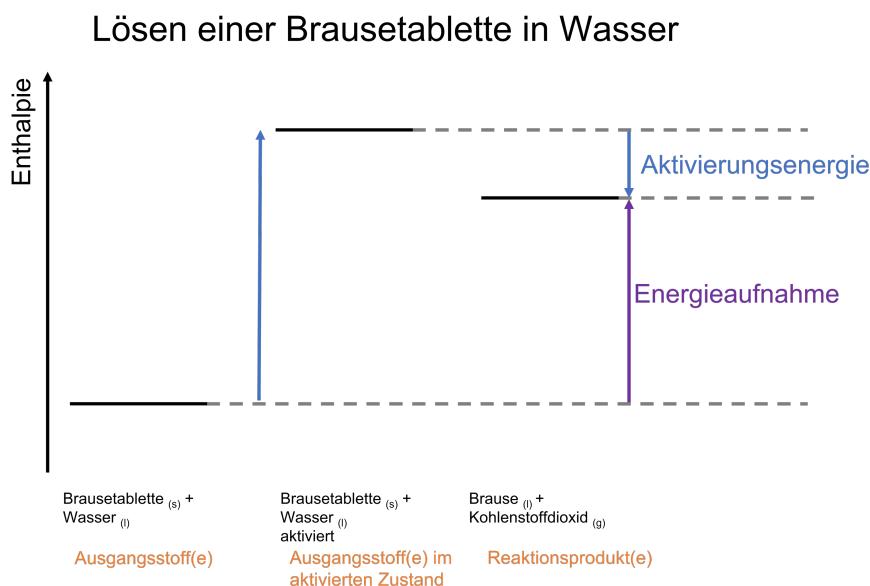


Abbildung 111: Enthalpie-Diagramm Lösen einer Brausetablette in Wasser

Wie bereits erwähnt hat sich in der Unterrichtspraxis häufig gezeigt, dass Lernende bei diesem Versuch aus der offensichtlichen Beobachtung der Abkühlung respektive der Temperatursenkung Probleme haben, die fachlich korrekte Schlussfolgerung zu ziehen. So handelt es sich aus Sicht vieler Schüler:innen um eine exotherme Reaktion. Entsprechend der gelernten Definition argumentieren sie, dass „Energie nach außen abgegeben wurde und eine kältere Brause zurückbleibt. Die Schwierigkeit für die Schüler:innen besteht darin zu verstehen, dass die Abkühlung darauf zurückzuführen ist, dass die Wärmeenergie des Reaktionsraumes, der der Umgebung entspricht, in die Enthalpie der Reaktionsprodukte umgewandelt worden ist. Dann wird von der Umgebung dem System Energie zugeführt und dieses damit wieder auf Umgebungstemperatur gebracht.

### Hinweis auf den Exkurs:

Eine weitere Möglichkeit, um diese Schülervorstellung zu korrigieren, können Versuche darstellen, die mit einer Wärmebildkamera thermografiert werden. Zwei mögliche Reaktionen, die beobachtet werden können, sind die Zugabe von Rohrreiniger in Wasser sowie die Zugabe einer Brausetablette in Wasser. Ziel

ist, dass die Schüler:innen die Energieumwandlung mittels Wärmebildkamera beobachten können.

Begonnen wird mit dem Versuch „Wärmebildaufnahme von Rohrreiniger in Wasser“, da die Schüler:innen häufig die exotherme Reaktion mit der einhergehenden Energieabgabe in Form von Wärme leichter verstehen. Im Anschluss wird der Versuch „Wärmebildaufnahmen einer Brausetablette in Wasser“ durchgeführt.

Dass mit dieser Reaktion Arbeit verrichtet werden kann, können die Lernenden erfahren, indem sie den Exkursversuch „Raketenantrieb mit Brausetablette“ durchführen. Die Auswertung des Versuchs bietet sich besonders für leistungsstarke Schüler:innen an, da durch die mechanische Arbeit Energie abgegeben wird. Sie stehen dann vor der Herausforderung, die Energiearten zu unterscheiden. Der theoretische Hintergrund zum Starten einer Rakete mithilfe von Wasser und Brausetabletten kann mithilfe eines Enthalpie-Diagramms genau betrachtet und abschließend begründet werden.

## 5.4 Anwendung und Festigung

Die Schüler:innen haben bereits exotherme Reaktionen behandelt, bei denen Licht und Wärme abgegeben werden. Dies machen Menschen zunutze, zum Beispiel durch die Verwendung von Kerzen. An diesem Lerngegenstand sollen zur Anwendung und Festigung der gewonnenen Erkenntnisse und Methoden die Prozesse der Kerze untersucht und auf der bildlichen, verbalen und energetischen Ebene interpretiert und ausgewertet werden. Der Fokus liegt dabei auf der Anwendung von Merkmalen einer chemischen Reaktion sowie auf den Merkmalen der Aggregatzustandsänderung. Ziel ist es, dass die Schüler:innen beide Prozesse voneinander klar und deutlich trennen können.

### 5.4.1 Was brennt bei einer Kerze?

Um die Prozesse beim Brennen einer Kerze zu verstehen, müssen zunächst Grundlagen zur Funktionsweise einer Kerze vermittelt werden. Durch die nachfolgenden Versuche lernen sie zunächst die Bestandteile einer Kerze kennen. Zu Beginn überprüfen die Schüler:innen welcher Teil für die Verbrennung verantwortlich ist und beginnen mit dem offensichtlichen Docht.

## Versuch 6: Verbrennen eines Dochtes

*Demonstrations-/Schülerexperiment nach Lange [120, S. 8]*

**Geräte:** Tiegelzange, Feuerzeug,

**Chemikalien:** Kerzendocht

**Durchführung:**

Der Kerzendocht wird mit der Tiegelzange gegriffen und das untere Ende mit dem Feuerzeug entzündet.

**Versuchsaufbau:**



Abbildung 112: Versuchsaufbau Verbrennen eines Dochtes

**Beobachtung:** Der Kerzendocht verbrennt zügig von unten nach oben mit einer orangen Flamme.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Der Kerzendocht verbrennt einzeln sehr schnell.

Vergleichen die Schüler:innen nun die Dauer der Verbrennung eines Kerzendochtes einzeln mit einem Kerzendocht, der Kontakt mit Kerzenwachs hat, so kommen sie zu dem Ergebnis, dass der Docht mit Kerzenwachs viel länger brennt. Dadurch kann problematisiert werden, welche Aufgabe der Docht während einer Verbrennung hat.

## Versuch 7: Rolle des Dochtes einer Kerze

*Demonstrationsexperiment nach Geiss [121, S. 57]*

**Geräte:** Feuerzeug, Porzellanschale, Tondreieck, Dreifuß, Schneideunterlage, Messer, Tiegelzange

**Chemikalien:** rote Kerze/farbiges Kerzenwachs, Docht

**Durchführung:** Eine rote Kerze wird mit einem Feuerzeug entzündet und die roten Partikel des Kerzenwachses beobachtet.

Dann wird farbiges Kerzenwachs mit einem Messer zerkleinert und in eine Porzellanschale gegeben, die sich auf einem Tondreieck befindet. Der Brenner wird entzündet und das Kerzenwachs langsam geschmolzen. Anschließend wird ein Docht in das farbige, flüssige Kerzenwachs gehalten.

#### Versuchsaufbau:

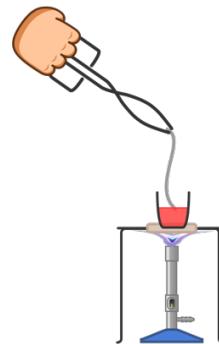


Abbildung 113: Versuchsaufbau Rolle des Doctes einer Kerze

**Beobachtung:** Das feste Kerzenwachs einer roten Kerze schmilzt. Die roten Partikel des Kerzenwachses bewegen sich langsam in Richtung des Kerzendochtes, steigen in diesen empor und werden in die Flamme geführt.

Das farbige Kerzenwachs schmilzt durch das Erwärmen mithilfe des Brenners. Der anschließend eingetauchte Docht saugt sich mit dem flüssigen Kerzenwachs voll.

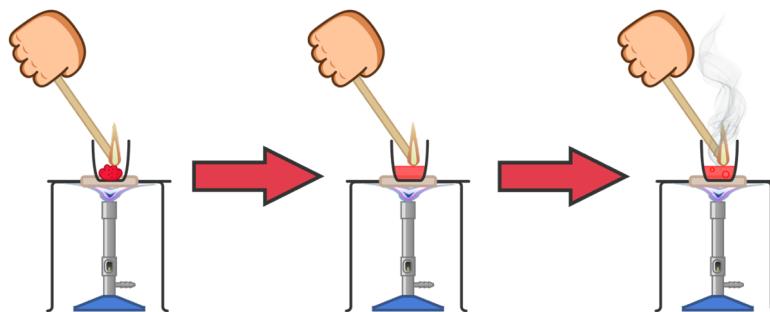
**Wesentliche Lerninhalte:** Ein Docht besteht aus vielen Baumwollfasern, die miteinander verflochten sind. Durch diese Anordnung entstehen Kanäle, die das Brennmaterial nach oben führen. Dabei spielen Kapillarkräfte die entscheidende Rolle für den Stofftransport.

#### Versuch 8: Überprüfung der Brennbarkeit von Kerzenwachs

*Demonstrationsexperiment nach Geiss [121, S. 55]*

**Geräte:** Porzellanschale, Dreifuß, Tondreieck, Brenner, Holzspan, Schneideunterlage, kleine Metallabdeckung, Feuerzeug

**Chemikalien:** Kerzenwachs eines Teelichtes

**Versuchsaufbau:****Abbildung 114: Versuchsaufbau Überprüfung der Brennbarkeit von Kerzenwachs**

**Durchführung:** Ein Teelicht wird aus der Aluminium-Form herausgenommen und der Kerzendocht entfernt. Anschließend wird das Kerzenwachs mithilfe des Messers auf der Schneideunterlage zerteilt und 1/4 davon in die Porzellanschale gegeben. Letztere wird auf den Dreifuß mit dem Tondreieck gestellt. Nun sollen in festgelegter Reihenfolge das feste, das flüssige und das gasförmige Kerzenwachs auf ihre Brennbarkeit mithilfe eines brennenden Holzspans überprüft werden. Beginnend mit dem festen Kerzenwachs wird versucht, dieses mit einem brennenden Holzspan zu entzünden. Für die Untersuchung des flüssigen Kerzenwachses wird die Porzellanschale mit dem Brenner erhitzt, bis das enthaltene Kerzenwachs geschmolzen ist und der brennende Holzspan an das flüssige Kerzenwachs gehalten werden kann. Nach diesem Vorgang wird das Kerzenwachs bis zum Sieden erhitzt und die aufsteigenden Dämpfe mit einem brennenden Holzspan versucht zu entzünden. Mithilfe der passenden Metallabdeckung kann brennendes Kerzenwachs gelöscht werden.

**Beobachtung:** Weder das feste noch das flüssige Kerzenwachs lassen sich mit einem brennenden Holzspan entzünden. Stattdessen erlischt dieser, sobald er in Kontakt mit dem flüssigen Kerzenwachs kommt. Beim Sieden steigen farblose Gasblasen auf, die in Kontakt mit der Luft weiße Dämpfe bilden. Mithilfe eines brennenden Holzspans lassen sich diese Gase entzünden und brennen mit einer orangefarbenen Flamme ab.

Durch das Abdecken der Porzellanschale mit einer Metallabdeckung erstickt die Flamme.

**Wesentliche Lerninhalte:** Das feste und das flüssige Kerzenwachs brennen nicht. Bei den aufsteigenden Gasblasen aus dem siedenden Kerzenwachs handelt es sich um Kerzenwachsgas. Dieses steigt auf und tritt in Kontakt mit dem Sauerstoff aus der Luft und kann sich entzünden, bzw. entflammt werden.

## Versuch 9: Ermittlung der Lage der Wachsdämpfe in einer Kerzenflamme

*Demonstrationsexperiment nach Seilnacht [122]*)

**Geräte:** Tiegelzange, Kupferdrahtnetz, Feuerzeug

**Chemikalien:** Kerze

**Durchführung:** Eine Kerze wird mit einem Feuerzeug entzündet. Im Anschluss greift man mit der Tiegelzange das Kupferdrahtnetz und hält es waagerecht in die Kerzenflamme. Durch Verschieben der Lage des Kupferdrahtnetzes wird nun ermittelt, in welcher Flammenzone die weißen Wachsdämpfe entstehen.

**Beobachtung:** Die weißen Wachsdämpfe steigen auf, wenn das Kupferdrahtnetz sehr nahe über den Docht gehalten wird. Weiter darüber steigt schwarzer Ruß empor.

**Wesentliche Lerninhalte:** Das Kupferdrahtnetz senkt die Temperatur der Wachsdämpfe herab, sodass sie oberhalb des Netzes nicht entzündet werden können.

## Versuch 10: Entzünden von Wachsdämpfen

*Schülerexperiment nach G. Lange [120, S. 11] und T. Seilnacht [122]*)

**Geräte:** Blumendraht, Aluminiumfolie, Bleistift/Filsstift/Glasstab ( $\varnothing$  ca. 4 mm), Holzspan, Schere, Lineal, Feuerzeug, Kerzenständer/-halter

**Chemikalien:** Kerze

**Vorbereitungen:** Manwickelt einen maximal 4 cm breiten Streifen aus Aluminium-Folie, ca. drei bis vier Mal um den Glasstab oder Stift. Anschließend nimmt man ein ca. 10 cm langes Stück Blumendraht und wickelt ein Ende zweimal mittig um die aufgewickelte Aluminium-Folie. Das verbleibende Stück des Drahtes dient zum Festhalten. Nun zieht man vorsichtig den Glasstab heraus und erhält so ein kleines Rohr aus Aluminiumfolie, welches mit dem Draht gehalten werden kann.

**Durchführung:** Eine Kerze wird angezündet und gewartet, bis das Wachs um den Docht geschmolzen ist. Nun hält man das Rohr aus Aluminiumfolie schräg mit einem Ende möglichst nah über den Docht, sodass die Wachsdämpfe aus dem anderen Ende austreten. Diese versucht man mit einem brennenden Holzspan zu entzünden. Als Nächstes wird das Aluminium-Rohr entfernt und die Kerze ausgeblasen. Anschließend versucht man die aufsteigenden Wachsdämpfe schnell mit einem brennenden Holzspan, ca. 2 cm und 5 cm oberhalb des Dochtes zu entzünden.

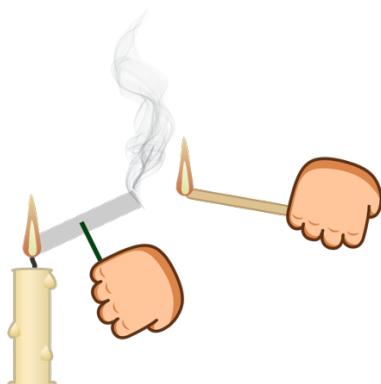
**Versuchsaufbau:**

Abbildung 115: Versuchsaufbau Entzünden von Wachsdämpfen

**Beobachtung:** Hält man das eine Ende eines Aluminium-Rohres nahe an den Kerzendocht einer brennenden Kerze, so treten aus dem anderen Ende weiße Wachsdämpfe aus, die sich mit einem brennenden Holzspan entzünden lassen. Die austretenden Wachsdämpfe brennen mit derselben Flammenfarbe wie die Kerze ab.

Pustet man die Kerze aus und berührt die aufsteigenden weißen Wachsdämpfe mit dem brennenden Ende eines Holzspans, so bewegt sich die Flamme sehr schnell entlang der aufsteigenden Wachsdämpfe nach unten zu dem Kerzendocht. Die Kerze brennt erneut. Die Flamme springt scheinbar von dem brennenden Holzspan auf den Kerzendocht.

**Wesentliche Lerninhalte:** Bei den aufsteigenden Wachsdämpfen handelt es sich um kondensierte Kerzenwachspartikeln mit Luft.

Der aufsteigende Nebel in dem Aluminium-Rohr besitzt einen ganz kleinen Zerteilungsgrad und lässt sich aus diesem Grund entzünden. Es entsteht eine Tochterflamme.

Ähnlich verhält es sich bei dem beobachteten Flammensprung. Der aufsteigende Nebel kann aufgrund des kleinen Zerteilungsgrades und der Anwesenheit von Sauerstoff entzündet werden. Da das Brennmaterial von unten nach oben steigt, folgt die Flamme dem Brennmaterial nach unten und wird, sobald sie auf den Docht übergetreten ist, mit weiterem Kerzenwachs unterhalten.

### 5.4.2 Vorgänge bei einer brennenden Kerze

Nachdem die Grundlagen der Funktionsweise einer Kerze thematisiert wurden, geht es nun zur Betrachtung der chemischen und energetischen Ebene.

#### Versuch 11: Vorgänge bei einer brennenden Kerze

*Schülerexperiment nach G. Lange [120, S. 14]*

**Geräte:** Becherglas, Reagenzglas (16x160), Reagenzglasklammer, Reagenzglasständer, Pipette, Feuerzeug, passender Stopfen,

**Chemikalien:** Kerze, Calciumhydroxid-Lösung (GHS05 , GHS07 )

Watesmo-Papier (GHS07 , GHS09 )

**Durchführung:** Die Kerze wird mit dem Feuerzeug entzündet. Anschließend hält man die Innenseite des Becherglases schräg über die Kerzenflamme, ohne dieses mit der Flamme zu berühren. Der sich bildende Beschlag wird mit Watesmo-Papier geprüft. Anschließend spannt man das Reagenzglas in die Reagenzglasklammer und hält es mit der Öffnung nach unten über die Kerzenflamme. Nach ca. 10 Sekunden dreht man das Reagenzglas, stellt es in den Reagenzglasständer und gibt mit der Pipette ca. 1 cm Calciumhydroxid-Lösung in das Reagenzglas, verschließt es mit dem passenden Stopfen und schüttelt das Reagenzglas.

#### Versuchsaufbau:

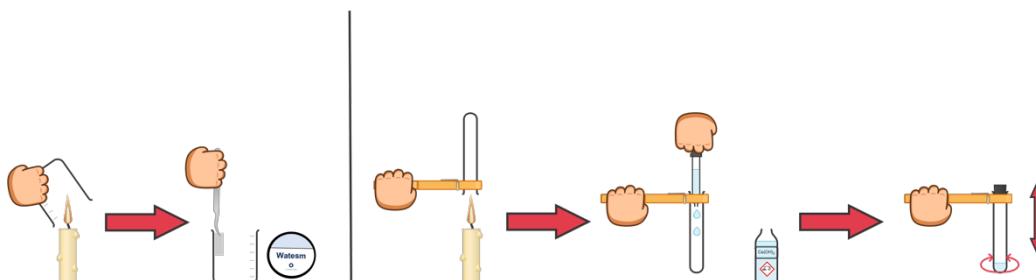


Abbildung 116: Versuchsaufbau Vorgänge in einer brennenden Kerze li. Nachweis von Wasser, re. Nachweis von Kohlenstoffdioxid

**Beobachtung:** Das feste Kerzenwachs schmilzt, sobald der Docht mit dem Feuerzeug entzündet wurde. Um den Docht bildet sich eine kreisförmige Aussparung, in der sich flüssiges Kerzenwachs befindet. Das flüssige Kerzenwachs bewegt sich fließend zum Kerzendocht hin, steigt dort bis zur Flamme auf. Das Becherglas beschlägt an der Innenwand mit einer farblosen Flüssigkeit. Hält man das Becherglas zu lange über die Kerze, verschwindet dieser Beschlag wieder. Wischt man einen Streifen Watesmo-Papier über den

Beschlag, verfärbt sich der Streifen dunkelblau. Im Reagenzglas, das über die Kerzenflamme gehalten wird, können zunächst keine Beobachtungen festgehalten werden. Nachdem in das Reagenzglas die farblose, klare Calciumhydroxid-Lösung eingefüllt, es mit einem Stopfen verschlossen und geschüttelt wurde, ist zu beobachten, dass die Calciumhydroxid-Lösung nun milchig-trüb vorliegt.

**Wesentliche Lerninhalte:** Bei einer angezündeten Kerze finden sowohl die Prozesse einer Aggregatzustandsänderung als auch einer chemischen Reaktion statt. Diese sind voneinander deutlich abzugrenzen. Festes Kerzenwachs schmilzt in Gegenwart des brennenden Kerzendochtes. Aufgrund der faserigen Struktur erreicht das flüssige Kerzenwachs durch die Kapillarkräfte das obere Ende des Dochtes und erfährt durch die Flamme eine Energiezunahme, sodass flüssiges Kerzenwachs siedet und in den gasförmigen Aggregatzustand übergeht. Durch die vorherrschende Entzündungstemperatur beginnt der Kerzenwachsdampf an zu verbrennen. Das Ablaufen dieser chemischen Reaktion Vorgang wurde durch den Nachweis des Wassers mit Watesmo-Papier und den Nachweis des Kohlenstoffdioxids durch die Calciumhydroxid-Lösung bestätigt.

#### Hinweis auf den Exkurs:

Da sowohl bei den Verbrennungsreaktionen als auch bei den Aggregatzustandsänderungen oft gasförmige Stoffe entstehen können, müssen diese beiden Prozesse deutlich voneinander getrennt werden, da sie oftmals von Schüler:innen miteinander gleichgesetzt werden. So wird der eigentliche Prozess der Verbrennung der Aggregatzustandsänderung zugeordnet, wenn ein gasförmiger Stoff entsteht, und nicht der chemischen Reaktion. Mit dem Versuch 1 "Erhitzen von Stoffen" wird eine Angrenzung beider Prozesse vorgenommen, wobei der vorgeschlagene Exkurs Vergleich "Verbrennen" und "Verdunsten" von Brennspiritus eine Übung zu diesem Lerninhalt darstellen kann. Die Prämissen ist, dass den Schüler:innen bereits die Nachweismethoden von Wasser und Kohlenstoffdioxid bekannt sind. Zur Einführung beider Nachweismethoden befindet sich jeweils ein experimenteller Vorschlag im Exkurs-Teil.

In dem nachfolgenden Teil wird spezifisch auf das entwickelte unterstützende Material für alle Schüler:innen zu den Versuchen zur Einführung der chemischen Reaktion unter Berücksichtigung der dreidimensionalen Planungshilfe eingegangen.

## Kapitel 6 Differenzierung „Einführung der chemischen Reaktion“

Für die Gestaltung von lernstrukturierenden Hilfen zur Einführung der chemischen Reaktion wird die dreidimensionale Planungshilfe herangezogen, wobei eine Mathematisierung und damit die quantitative Betrachtung von Stoff- und Energieumsätzen weiterhin nicht vorgesehen ist und erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt.

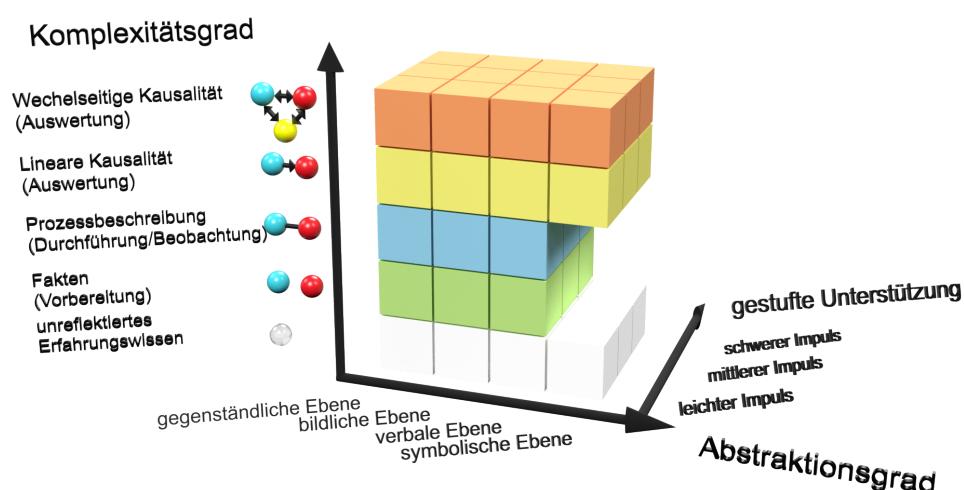


Abbildung 117: 3D-Planungshilfe für die Differenzierung des Konzeptes zur Einführung der chemischen Reaktion

Die dreidimensionale Planungshilfe unterstützt die Strukturierung von Unterrichtsmaterial, um anzuwendende Methoden zu prüfen und zu entscheiden, in welchem Maße Hilfen entwickelt werden können. Dabei entfällt auf den Komplexitätsgraden Fakten und Prozessbeschreibung die symbolische Ebene des Abstraktionsgrades. Diese sind ausschließlich auf der linearen und wechselseitigen Kausalität verankert.

### 6.1 Differenzierung Versuch 1: „Erhitzen von Lebensmitteln“

Der erste Versuch aus der Reihe zur Einführung der chemischen Reaktion widmet sich der Abgrenzung von chemischen (Stoffumwandlung) gegenüber physikalischen Prozessen (Aggregatzustandsänderung). Dazu untersuchen die Schüler:innen unterschiedliche Stoffe, während sie erhitzt werden.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 118 sowie im Anhang):

Name:	Klasse:	Datum:	
<b>Thema: Die chemische Reaktion</b>			
<b>„Erhitzen von Lebensmitteln“</b>			
<b>Aufgabe:</b> Untersuche mittels Experiment, wie sich Stoffe beim Erhitzen verhalten.			
<b>1. Vorbereitung:</b> Stelle dir alle benötigten Materialien auf deinen Arbeitsplatz.			
<b>Geräte:</b>			
4 Reagenzgläser	<input type="checkbox"/>	Feuerzeug	<input type="checkbox"/>
Reagenzglasständer	<input type="checkbox"/>	Brenner	<input type="checkbox"/>
Reagenzglasklammer	<input type="checkbox"/>		
<b>Chemikalien:</b>			
Salz	<input type="checkbox"/>	Milch	<input type="checkbox"/>
Wasser	<input type="checkbox"/>	Zucker	<input type="checkbox"/>
<b>2. Durchführung:</b>			
Schritt	Durchführung		
2.1	Spanne ein Reagenzglas mit Stoffprobe in die Reagenzglasklammer <b>ein</b> .		
2.2	Halte das Reagenzglas in die rauschende Flamme, bis keine Veränderungen des Stoffes mehr wahrnehmbar sind. <b>Achtung:</b> Stelle für Zucker die <b>Sparflamme</b> ein.		
2.3	Stelle das Reagenzglas in den Reagenzglasständer.		
2.4	Notiere deine Beobachtungen.		
1			

Stoffprobe	Beobachtung			Schlussfolgerung
	vor dem Erhitzen	während des Erhitzens	nach dem Erhitzen	

**3. Beobachtung und Schlussfolgerung:**

**4. Auswertung:**

- Trage in die Tabelle die **Schlussfolgerung** ein.  
Bei welchem Stoff handelt es sich um eine **Aggregatzustandsänderung** und bei welchem um eine **chemische Reaktion (Stoffumwandlung)**?
- Formuliere die Wortgleichungen für **Stoffe**, bei denen durch das Erhitzen eine **chemische Reaktion (Stoffumwandlung)** stattfand.

2

Abbildung 118: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 1: „Erhitzen von Lebensmitteln“

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung</b>	Anleitung in einfacher Sprache mit, Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	<i>strukturiertes Wortfeld, Zuordnungskarten, Abbildungen vorher/nachher, Video</i>
<b>Auswertung</b>	<i>Puzzle</i>

Tabelle 45: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 1: „Erhitzen von Lebensmitteln“

Im Folgenden sollen **alle** Unterstützungsangebote für die Beobachtung und die Auswertung des Versuchs beschrieben werden. Zwar wurden die **Wortfelder** bereits vorgestellt, allerdings sind an dieser Stelle Ergänzungen zur Strukturierung zu erwähnen. Alle anderen Unterstützungsmaßnahmen zur Vorbereitung und Durchführung sind äquivalent zu den bereits beschriebenen Unterstützungsmaßnahmen zu anderen Versuchen, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

### 6.1.1 Beobachtung

Zur Formulierung der Beobachtung während der Durchführung sind die Schüler:innen aufgefordert, die Stoffeigenschaften vor, während und nach dem Erhitzen in eine Übersicht (Abbildung 119) einzutragen.

### 3. Beobachtung und Schlussfolgerung:

Stoffprobe	Beobachtung			Schlussfolgerung
	vor dem Erhitzen	während des Erhitzens	nach dem Erhitzen	

Abbildung 119: Tabelle für Beobachtung und Schlussfolgerung zum Versuch Erhitzen von Lebensmitteln

Zu diesem und allen weiteren folgenden Versuchen werden die Stoffeigenschaften vor, während und nach dem Versuch beschrieben. Für diese Tätigkeit wird zum Beschreiben der Beobachtungen ein Vokabular benötigt, das sukzessive im Unterricht aufgebaut wird. Um dieses zu etablieren und den Schüler:innen eine Unterstützung anzubieten, auf die sie zurückgreifen können, erhalten alle Schüler:innen die nachfolgende Strukturierungshilfe zur Beschreibung der Stoffeigenschaften.

### 6.1.1.1 Allgemeine Strukturierungshilfe zur Beschreibung von Stoffeigenschaften

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Einordnung
Komplexitätsgrad	Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad	verbale Ebene
gestufte Unterstützung	leichter Impuls

Tabelle 46: Einordnung einer Strukturierungshilfe zur Beschreibung von Beobachtungen in die dreidimensionale Planungshilfe

Die Übersicht (Abbildung 120) bezieht sich insbesondere auf die Stoffeigenschaften, die mit den Sinnen (außer Schmecken) erfasst werden können. Dabei sollen den Schüler:innen Impulse gegeben werden, um einem Stoff die richtigen Eigenschaften zuzuordnen. Weiter Eigenschaften können mit dem Tafelwerk bestimmt werden bzw. durch Experimente wie die Brennbarkeit von Stoffen.

## Stoffeigenschaften

So bestimmst du Stoffeigenschaften vor, während und nach der Versuchsdurchführung:

Sinne	Sehen	Fühlen	Riechen	Hören
	<b>Farben:</b> 	<b>Oberfläche:</b> z. B.: rau, glatt <b>Form:</b> z. B.: kristallin, porös, Pulver	<b>Gerüche:</b> stechend, scharf, alkoholartig, süß, bitter, angebrannt, verbrannt, faulig, fäkal, erdig, ätherisch, geruchlos, fruchtig modrig, muffig, widerlich, rauchig, seifig, sauer, wachsartig Riecht nach etwas: z. B.: Lebensmittel Gegenstand/ Material (Kunststoff, Gummi)	<b>Geräusche:</b> z. B: Knistern, Knall, Rauschen
	<b>Aggregatzustände:</b> 			
<b>Tafelwerk</b>	z. B.: Schmelz - und Siedetemperatur, Dichte			
<b>Experimente</b>	z. B.: Brennbarkeit, Magnetismus, elektrische Leitfähigkeit, Löslichkeit			

Abbildung 120: Übersicht zur Bestimmung von Stoffeigenschaften

Die Schlussfolgerung zu dem Versuch wird dann gemeinsam mit den Schüler:innen formuliert.

Auf der **verbalen Ebene** der Prozessbeschreibung können die Schüler:innen ein Wortfeld (Abbildung 121) zum Ausfüllen der Tabelle nutzen.

### 6.1.1.2 Strukturiertes Wortfeld

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		verbale Ebene
gestufte Unterstützung		leichter Impuls

**Tabelle 47: Einordnung von strukturierten Wortfeldern in die dreidimensionale Planungshilfe**

Dieses Wortfeld unterscheidet sich insoweit von den bisher eingesetzten Wortfeldern, dass mehr Begriffe aufgelistet sind. Aus diesem Grund erfolgt eine weitere Strukturierung, indem Oberbegriffe diese ordnen.

### Wortfeld

**Formuliere mit den Begriffen die Beobachtungen zu dem Versuch.**

**Aggregatzustände:** fest, flüssig, gasförmig, Feststoff, Flüssigkeit, Dämpfe, Schmelzen, Erstarren, Verdampfen, Sieden, pulverförmig, porös, kristallin

**Farbe:** weiß, schwarz, braun, farblos

**Geruch:** Karamellgeruch, unangenehmer Geruch, geruchlos

**Stoffe:** Zucker, Wasser, Salz, Milch

### Wortfeld

**Scanne den QR-Code.**

**Formuliere mit den Begriffen die Beobachtungen zu dem Versuch.**



**Abbildung 121: Wortfeld zur Beobachtung**

Des Weiteren sind auf dieser Ebene der Abstraktion als weiterer Impuls Karten vorgesehen, die die Beobachtungen beinhalten und zugeordnet werden müssen.

### 6.1.1.3 Zuordnungskarten

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Einordnung
Komplexitätsgrad	Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad	verbale Ebene
gestufte Unterstützung	mittlerer Impuls

Tabelle 48: Einordnung von Zuordnungskarten in die dreidimensionale Planungshilfe

Die Karten (Abbildung 122) sind vorher von der Lehrperson auszuschneiden, wobei entschieden werden kann, die Schlussfolgerung in einen separaten Umschlag zu legen. So können weiter vorangeschrittene Schüler:innen versuchen, richtig zuzuordnen und zu diskutieren, welche Schlussfolgerung zu welchem Stoff passt.

### Zuordnen

Auf den Karten befinden sich die Stoffeigenschaften der Stoffe (Wasser, Salz, Zucker und Milch) vor, während und nach dem Erhitzen sowie die Schlussfolgerung.

Ordne die Karten in dem Umschlag der Tabelle zu.

Zeige die Zuordnung deiner Lehrkraft.

Schreibe/ Klebe die richtige Zuordnung der Karten in deine Tabelle.

Wasser	<input type="checkbox"/> farblos	<input type="checkbox"/> weiß	<input type="checkbox"/> schwarzer Feststoff	chemische Reaktion (Stoffumwandlung)
	<input type="checkbox"/> klar	<input type="checkbox"/> fest	<input type="checkbox"/> unangenehmer Geruch	
	<input type="checkbox"/> flüssig	<input type="checkbox"/> kristallin		
Zucker	<input type="checkbox"/> weiß	<input type="checkbox"/> süßlicher Geruch	<input type="checkbox"/> Knistern hörbar	chemische Reaktion (Stoffumwandlung)
	<input type="checkbox"/> fest		<input type="checkbox"/> Salz schmilzt	
	<input type="checkbox"/> kristallin	<input type="checkbox"/> weiße Dämpfe	<input type="checkbox"/> farblose Flüssigkeit	
		<input type="checkbox"/> schwarzer Feststoff		
Milch	<input type="checkbox"/> unangenehmer Geruch	<input type="checkbox"/> unangenehmer Geruch		Aggregatzustandsänderung
	<input type="checkbox"/> weiß	<input type="checkbox"/> schwarzer Feststoff	<input type="checkbox"/> farblos	
	<input type="checkbox"/> flüssig		<input type="checkbox"/> klar	
			<input type="checkbox"/> flüssig	
Salz				Aggregatzustandsänderung
	<input type="checkbox"/> weiß	<input type="checkbox"/> farblos	<input type="checkbox"/> Zucker schmilzt	
	<input type="checkbox"/> fest	<input type="checkbox"/> klar	<input type="checkbox"/> braun,	
	<input type="checkbox"/> kristallin	<input type="checkbox"/> flüssig	<input type="checkbox"/> Karamellgeruch	
		<input type="checkbox"/> Bläschenbildung	<input type="checkbox"/> schwarzer Feststoff	
			<input type="checkbox"/> weiße Dämpfe	
			<input type="checkbox"/> unangenehmer Geruch	

Abbildung 122: Karten zum Zuordnen der Beobachtung und der Schlussfolgerung

Um die Schüler:innen weiter zu unterstützen und einen Vergleich der Ausgangsstoffe mit den Reaktionsprodukten anzuregen, können auf der gegenständlichen Ebene die Komponenten in ihrem Ausgangszustand zur Verfügung gestellt werden oder eine Abbildung (siehe Abbildung 123), die einen Vergleich ermöglicht.

#### 6.1.1.4 Vorher-/Nachher-Vergleich durch Abbildung

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		schwerer Impuls

Tabelle 49: Einordnung von Vorher-/Nachher-Vergleichen in die dreidimensionale Planungshilfe

Bei dieser Variante ist die verbale Ebene insofern integriert, dass eine Beschriftung und Zuordnung erfolgt, ohne dass die Lehrkraft verbale Impulse geben muss.

### Abbildungen

Hier siehst du die erhitzten Lebensmittel vorher und nachher.

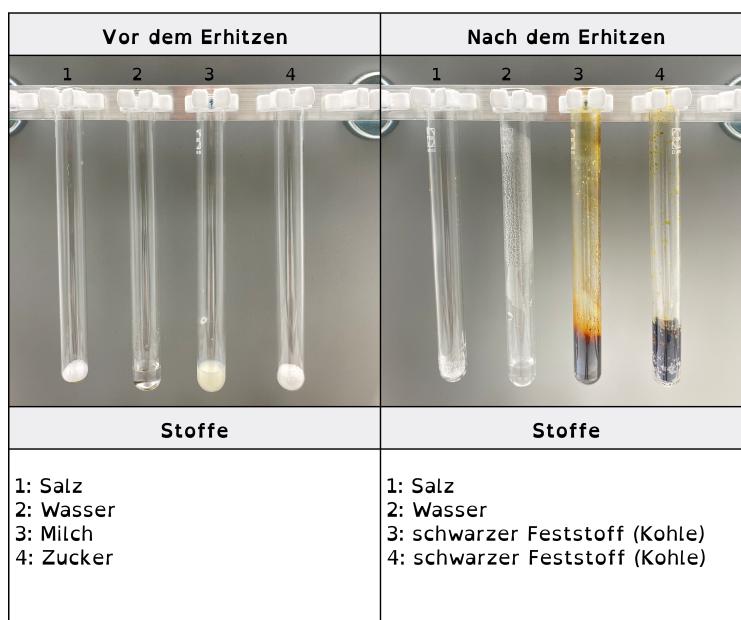


Abbildung 123: Vergleich der Ausgangsstoffe und der Reaktionsprodukte

Der gegenständliche Vergleich ist jedoch zu bevorzugen, damit die Schüler:innen alle Sinneseindrücke erfahren.

Die jeweiligen Unterstützungsangebote sind gekoppelt an den Vergleich vor und nach dem Erhitzen der Komponenten. Um die Beobachtung während des Erhitzens nochmals nachzuvollziehen, kann der Versuch mehrfach wiederholt werden, oder die Schüler:innen greifen auf ein Video zurück, das den Prozess verfolgen lässt.

### 6.1.2 Auswertung

Die Auswertung sollte mit den Schüler:innen gemeinsam erfolgen, da es um die Grundlegung von Fachwissen und Fachsprache geht und wie dieses auf andere Prozess zu übertragen ist. Dazu wird festgehalten, dass es sich bei den Komponenten Salz und Wasser um eine Aggregatzustandsänderung handelt, während Milch und Zucker nicht mehr vorliegen und neue Stoffe mit anderen Eigenschaften entstanden sind. Die Ausgangsstoffe existieren nicht mehr. Gleichzeitig wird eingeführt, dass dabei Energie umgewandelt wird. Außerdem werden gemeinsam Sätze in einer vorgegebenen Struktur gebildet, die die Stoffumwandlung beschreiben. Eine solche Satzstruktur wird dann symbolisch umgesetzt, indem die Wortgleichungen formuliert werden. Dieser Input erfolgt seitens der Lehrkraft. Zu diesem Zweck sollten die Wortgleichungen für Zucker und Milch formuliert werden. Die Schüler:innen können diese Informationen immer wieder abrufen, indem sie auf ihre eigenen Aufzeichnungen zurückgreifen oder Infokästen (Abbildung 124) verwenden.

<p><b>Info-Kasten:</b></p> <p><b>Merkmal der chemischen Reaktion: Stoffumwandlung</b></p> <p>Chemische Reaktionen sind Vorgänge bei denen die Ausgangsstoffe zu neuen Stoffen mit anderen Eigenschaften (Reaktionsprodukte) reagieren.</p> <p>Jede chemische Reaktion ist gekennzeichnet durch eine Stoffumwandlung.</p>						
<p><b>Info-Kasten:</b></p> <p><b>Die Wortgleichung</b></p> <p>Mithilfe von <b>Wortgleichungen</b> werden chemische Reaktionen formuliert.</p> <p><b>Zum Beispiel:</b></p> <p>Zucker reagiert zu Kohle und übelriechenden Dämpfen.</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">„reagiert zu“</td> <td style="text-align: center;">„und“</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Zucker</td> <td style="text-align: center;">Kohle + übelriechenden Dämpfen</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Ausgangsstoff</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Reaktionsprodukte</b></td> </tr> </table>	„reagiert zu“	„und“	Zucker	Kohle + übelriechenden Dämpfen	<b>Ausgangsstoff</b>	<b>Reaktionsprodukte</b>
„reagiert zu“	„und“					
Zucker	Kohle + übelriechenden Dämpfen					
<b>Ausgangsstoff</b>	<b>Reaktionsprodukte</b>					

Abbildung 124: Infokasten zur Definition der chemischen Reaktion und zum Aufstellen von Wortgleichungen

Für die Übung können Puzzle zu den Wortgleichungen angewendet werden, die auf einer spielerischen Art und Weise zu immanentem Wissen führen.

#### 6.1.2.1 Puzzle für Wortgleichungen

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Lineare Kausalität
Abstraktionsgrad		verbale und symbolische Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

Tabelle 50: Einordnung von Puzzles in die dreidimensionale Planungshilfe

Um den Umgang mit der Fachsprache zu fördern und diese verständlicher zu machen, soll die Struktur einer Wortgleichung gefestigt werden.

Das Puzzle-Set (Abbildung 125) besteht aus mehreren Teilen, die sich in ihrer Bedeutung unterscheiden. In hellem Grau sind die Ausgangsstoffe, die Reaktionsprodukte sowie die Symbole des Reaktionspfeils und des Plus-Zeichens gehalten und bilden die Wortgleichung. In einem dunkleren Grau sind die Puzzle-Teile gehalten, die die Aussprache und ihre Bedeutung enthalten. Somit ist allgemein die Aussage verborgen: „Ausgangsstoffe reagieren zu Reaktionsprodukten“. Außerdem wird für die Symbole die richtige Wortwahl

dargestellt, um die Schüler:innen bei der mündlichen und schriftlichen Interaktion zu unterstützen, die Fachsprache richtig anzuwenden.

Gleichzeitig sind die Fotografien aus den Beobachtungen auf den Puzzle-Teilen dargestellt. Dies stellt eine zusätzliche Variante dar. Das Set kann auch ohne die Abbildungen verwendet werden.

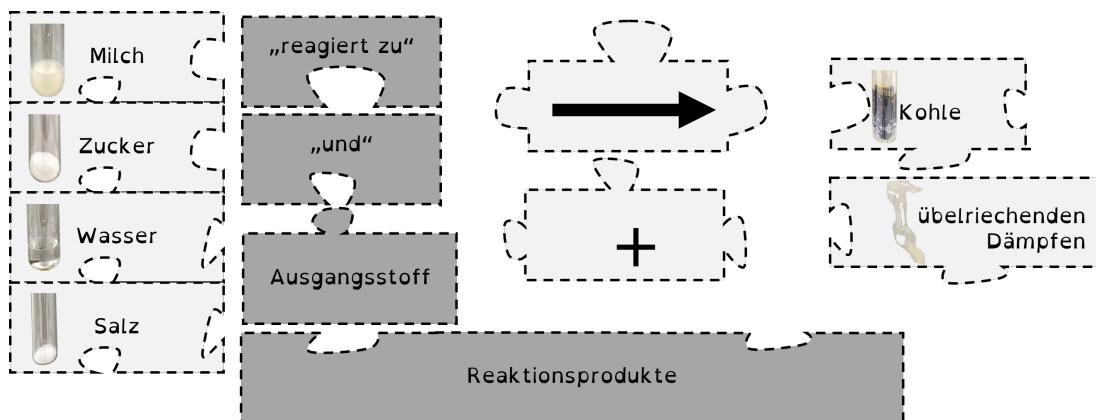


Abbildung 125: Puzzle-Set zu Wortgleichungen

Versuchen die Schüler:innen die Komponenten mit dem Puzzle-Teil des Ausgangsstoffes zu verbinden, so sind sie bei allen erfolgreich. Geht es nun darum, den Reaktionspfeil anzulegen, sind die Lernenden nicht in der Lage, diesen bei Wasser und Salz anzulegen (Abbildung 126).

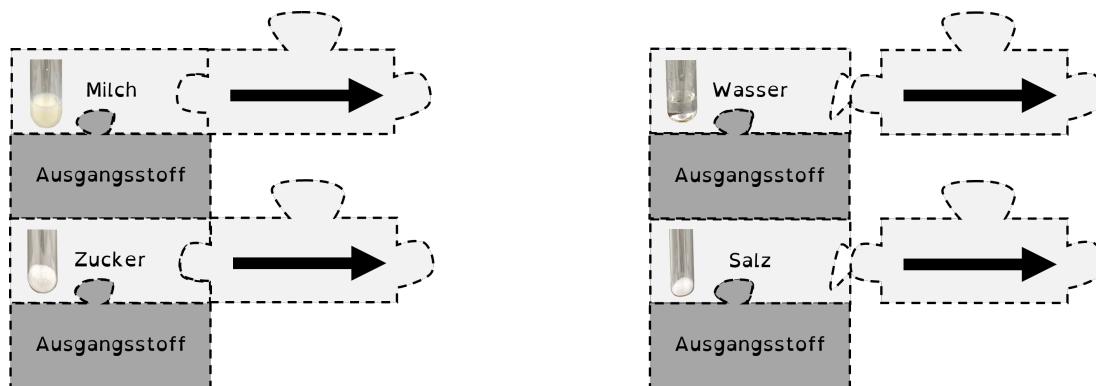


Abbildung 126: Puzzle-Teile in Verwendung

Lediglich bei Milch und Zucker sind die Schüler:innen erfolgreich, da nur bei diesen eine chemische Reaktion während des Erhitzen stattfindet (Abbildung 126).

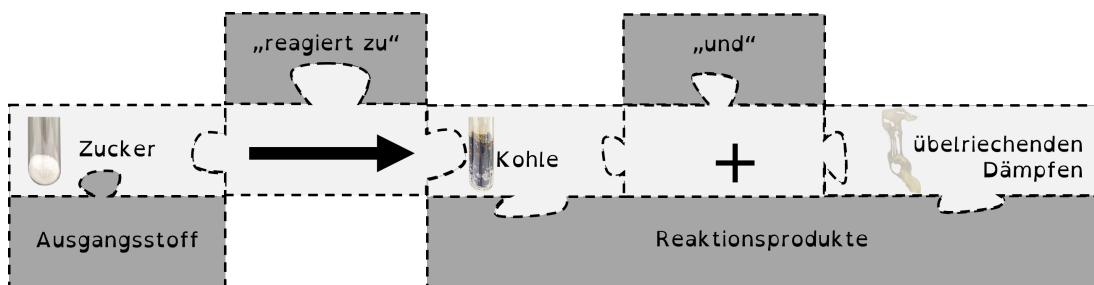


Abbildung 127: Lösung des Puzzles am Beispiel von Zucker

Der Versuch 2: „Erhitzen von Holz unter Luftabschluss“ thematisiert das Herstellen von Grillkohle. Dabei soll ähnlich wie bei dem Erhitzen von Lebensmitteln überprüft werden, wie sich das Erhitzen auf Stoffe auswirkt, insbesondere auf die Komponente Holz, unter Ausschluss von Luft. Da es zu diesem Versuch keine neuen Unterstützungsmaßnahmen entwickelt wurden, sondern sie äquivalent zu dem vorherigen Versuch sind, wird an dieser Stelle auf den Anhang verwiesen. Die dabei produzierte Grillkohle kann für den nachfolgenden Versuch verwendet werden, um den Prozess des Verbrennens von Grillkohle zu untersuchen.

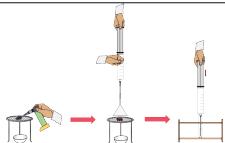
## 6.2 Differenzierung Versuch 3: „Verbrennen von Grillkohle“

Dieser Versuch lässt sich auf zwei unterschiedliche Arten innerhalb des Unterrichts einsetzen. Zum einen kann eine bereits vorstrukturierte Form gewählt werden, wobei die Geräte, Chemikalien und die Durchführung vorgegeben sind. Zum anderen kann eine Variante gewählt werden, bei der die Schüler:innen selbst den Versuch planen und die Reaktionsprodukte mit geeigneten Mitteln nachweisen. Die entsprechenden Nachweismethoden sind notwendige Vorkenntnisse, die im Vorfeld zu behandeln sind.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 128 und Abbildung 129 sowie im Anhang):

Beobachtungen	Schlussfolgerungen
<b>Stoffeigenschaften vorher und nachher:</b>	
<b>Energie:</b>	
<b>Bedingungen:</b>	
<b>4. Auswertung:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>Begründe</b>, dass es sich bei dem beobachteten Prozess um eine chemische Reaktion handelt.</li> <li><b>Formuliere</b> die Wortgleichung.</li> </ol> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	
<b>Wortgleichung:</b> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>	

Abbildung 128: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 3: „Verbrennen von Grillkohle“ Planung durch Schüler:innen

Name:	Klasse:	Datum:																				
Thema: Die chemische Reaktion																						
<b><u>„Verbrennen von Grillkohle“</u></b>																						
<b>Aufgabe:</b> <b>Untersuche</b> mittels Experiment, die Reaktionsprodukte beim Verbrennen von Grillkohle.																						
<b>1. Vorbereitung:</b> Stelle dir alle benötigten Materialien auf deinen Arbeitsplatz.																						
<b>Geräte:</b> <table border="1"> <tr> <td>(1) 50-mL-Spritze</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(6) Porzellanschale</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(2) dünner Silikonschlauch</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(7) Brenner</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(3) Silikonschlauch mit Adapter</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(8) Reagenzglasständer</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(4) Trichter</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(9) Reagenzglas</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(5) Dreifuß mit Metallgitter</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(10) Pipette</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>			(1) 50-mL-Spritze	<input type="checkbox"/>	(6) Porzellanschale	<input type="checkbox"/>	(2) dünner Silikonschlauch	<input type="checkbox"/>	(7) Brenner	<input type="checkbox"/>	(3) Silikonschlauch mit Adapter	<input type="checkbox"/>	(8) Reagenzglasständer	<input type="checkbox"/>	(4) Trichter	<input type="checkbox"/>	(9) Reagenzglas	<input type="checkbox"/>	(5) Dreifuß mit Metallgitter	<input type="checkbox"/>	(10) Pipette	<input type="checkbox"/>
(1) 50-mL-Spritze	<input type="checkbox"/>	(6) Porzellanschale	<input type="checkbox"/>																			
(2) dünner Silikonschlauch	<input type="checkbox"/>	(7) Brenner	<input type="checkbox"/>																			
(3) Silikonschlauch mit Adapter	<input type="checkbox"/>	(8) Reagenzglasständer	<input type="checkbox"/>																			
(4) Trichter	<input type="checkbox"/>	(9) Reagenzglas	<input type="checkbox"/>																			
(5) Dreifuß mit Metallgitter	<input type="checkbox"/>	(10) Pipette	<input type="checkbox"/>																			
<b>Chemikalien:</b> <table border="1"> <tr> <td>(11) Kohle</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(12) Kalkwasser</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>			(11) Kohle	<input type="checkbox"/>	(12) Kalkwasser	<input type="checkbox"/>																
(11) Kohle	<input type="checkbox"/>	(12) Kalkwasser	<input type="checkbox"/>																			
<b>2. Durchführung:</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schritt</th> <th>Durchführung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.1</td> <td>Entzünde den Brenner und <b>erhitze</b> die Grillkohle bis diese glüht.</td> </tr> <tr> <td>2.2</td> <td>Lösche den Mikroflammbrenner und <b>puste</b> vorsichtig die glühende Grillkohle an, sodass sie weiter glüht.</td> </tr> <tr> <td>2.3</td> <td>Fange das Gas mit dem Trichter und der Spritze <b>auf</b>. Halte dazu die Apparatur über die glühende Grillkohle und <b>ziehe</b> den Spritzenstempel nach oben.</td> </tr> <tr> <td>2.4</td> <td>Entferne den Trichter von der Spritze und <b>befestige</b> den dünnen Schlauch an der Spritze.</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>Düse das aufgefangene Gas langsam in das Kalkwasser.</td> </tr> </tbody> </table>			Schritt	Durchführung	2.1	Entzünde den Brenner und <b>erhitze</b> die Grillkohle bis diese glüht.	2.2	Lösche den Mikroflammbrenner und <b>puste</b> vorsichtig die glühende Grillkohle an, sodass sie weiter glüht.	2.3	Fange das Gas mit dem Trichter und der Spritze <b>auf</b> . Halte dazu die Apparatur über die glühende Grillkohle und <b>ziehe</b> den Spritzenstempel nach oben.	2.4	Entferne den Trichter von der Spritze und <b>befestige</b> den dünnen Schlauch an der Spritze.	2.5	Düse das aufgefangene Gas langsam in das Kalkwasser.								
Schritt	Durchführung																					
2.1	Entzünde den Brenner und <b>erhitze</b> die Grillkohle bis diese glüht.																					
2.2	Lösche den Mikroflammbrenner und <b>puste</b> vorsichtig die glühende Grillkohle an, sodass sie weiter glüht.																					
2.3	Fange das Gas mit dem Trichter und der Spritze <b>auf</b> . Halte dazu die Apparatur über die glühende Grillkohle und <b>ziehe</b> den Spritzenstempel nach oben.																					
2.4	Entferne den Trichter von der Spritze und <b>befestige</b> den dünnen Schlauch an der Spritze.																					
2.5	Düse das aufgefangene Gas langsam in das Kalkwasser.																					
																						

1

<b>3. Beobachtung und Schlussfolgerung:</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Beobachtungen</th> <th>Schlussfolgerungen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stoffeigenschaften vorher und nachher:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energie:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bedingungen:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Beobachtungen	Schlussfolgerungen	Stoffeigenschaften vorher und nachher:		Energie:		Bedingungen:	
Beobachtungen	Schlussfolgerungen								
Stoffeigenschaften vorher und nachher:									
Energie:									
Bedingungen:									
<b>4. Auswertung:</b> <p>a) Begründe, dass es sich bei dem beobachteten Prozess um eine chemische Reaktion handelt.</p> <p>b) Formuliere die Wortgleichung.</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>									
<b>Wortgleichung:</b>									

2

Abbildung 129: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 3: „Verbrennen von Grillkohle“

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung mit Planung</b>	<i>Durchführung mit Abbildungen und einem Wortgeländer, Durchführung mit Abbildungen und einem Lückentext</i> , Anleitung in einfacher Sprache, mit bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Durchführung ohne Planung</b>	Anleitung in einfacher Sprache mit bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	strukturiertes Wortfeld, Zuordnungskarten, Abbildungen vorher/nachher, Video
<b>Auswertung</b>	Wortfeld, Satzmuster, Lückentext, Puzzle

Tabelle 51: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 3: „Verbrennen von Grillkohle“

Im Folgenden sollen die *Durchführung mit Abbildungen und einem Wortgeländer* und die *Durchführung mit Abbildungen und einem Lückentext* als Unterstützungsangebote vorgestellt werden. Alle anderen Unterstützungsmaßnahmen zu diesem Versuch sind äquivalent zu den bereits beschriebenen Unterstützungsmaßnahmen anderer Versuche, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

### 6.2.1 Planung der Durchführung des Versuchs 3: „Verbrennen von Grillkohle“

Für die Planung des Versuchs müssen notwendige Geräte und Chemikalien ausgewählt werden. Außerdem muss eine Durchführung verfasst werden. Damit die Schüler:innen eine Auswahl haben, ist auf dem Arbeitsblatt eine mögliche

Auswahl an Geräten und Chemikalien vorgegeben (Abbildung 130), die ihnen zur Verfügung stehen.

### Vorgehensweise

- 1.1 **Plane** dein Experiment (Versuchsaufbau und Durchführung).  
**Wähle** dazu passende Geräte **aus**.
- 1.2 **Erkläre** deiner Lehrperson dein geplantes Experiment.

<b>Geräte:</b>		
(1) 50-mL-Spritze	<input type="checkbox"/>	(10) Brenner
(2) 10-ml-Spritze	<input type="checkbox"/>	(11) Dreifuß mit Metallgitter
(3) Verschlusskappe für Spritzen	<input type="checkbox"/>	(12) Reagenzglasständer
(4) dünner Silikonschlauch	<input type="checkbox"/>	(13) Reagenzglas
(5) Silikonschlauch mit Adapter	<input type="checkbox"/>	(14) Trichter
(6) Pipette	<input type="checkbox"/>	(15) Uhrenglas
(7) Spatel	<input type="checkbox"/>	(16) Petrischale
(8) Porzellanschale	<input type="checkbox"/>	(17) Holzspan
(9) Pistill	<input type="checkbox"/>	(18) Tiegelzange
<b>Chemikalien:</b>		
(19) Kohle	<input type="checkbox"/>	(20) Kalkwasser

Abbildung 130: Liste an Geräten und Chemikalien der Materialbox

Die Schüler:innen müssen nach ihrer Planung diese mit der Lehrperson besprechen, um Unfälle zu vermeiden.

### 6.2.2 Vorbereitungen (Geräte und Chemikalien)

Um die Schüler:innen in ihrem Prozess zu unterstützen, können zunächst Diskussionen entstehen und dabei Impulse gegeben werden. Falls dieses Vorgehen nicht zu einem Ziel führt, können die Schüler:innen die Vorauswahl an Geräten und Chemikalien nutzen, die eine Checkliste enthält, sowie die ikonischen Abstraktionen oder die Fotografie der Gegenstände. Mit diesem Impuls können die Lernenden nun eine mögliche Versuchsdurchführung konzipieren.

### 6.2.3 Durchführung

#### 6.2.3.1 Durchführung mit Abbildungen und einem Wortgeländer

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Abbildung	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		leichter Impuls

Tabelle 52: Einordnung von Abbildungen mit Wortgeländer in die dreidimensionale Planungshilfe

## Durchführung

1. Notiere in die Klammern vor den Bildern die Reihenfolge.
2. Schreibe die richtige Reihenfolge der Bilder in die Klammern des Wortgeländers.
3. Beschreibe den Versuch mit Hilfe des Wortgeländers.

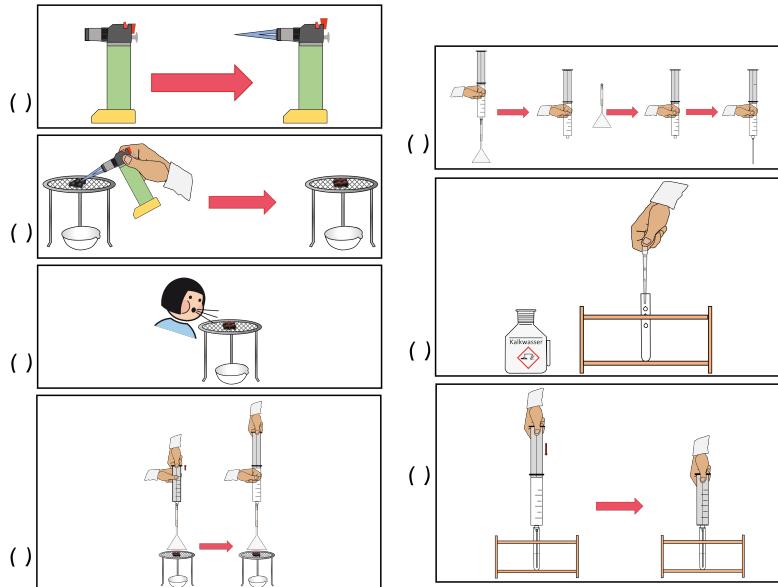


Abbildung 131: Durchführung zum Verbrennen von Grillkohle

## Wortgeländer:

- ( ) wechseln - Trichter und Silikonschlauch - dünnen Silikonschlauch
- ( ) anpusten - Kohle- weiter glühen  
(Du kannst eine Luftpumpe zur Hilfe nehmen.)
- ( ) geben - 5 mL Kalkwasser - Reagenzglas
- ( ) erhitzen - Kohle - Brenner  
**(Beende diesen Schritt, sobald die Grillkohle glüht.)**
- ( ) düsen - aufgefangene Gas - Reagenzglas mit Kalkwasser
- ( ) halten -Trichter mit Schlauch und Spritze - über glühende Kohle  
**(Ziehe den Spritzenstempel nach oben.)**
- ( ) entzünden - Brenner

Abbildung 132: Wortgeländer zur Durchführung zum Verbrennen von Grillkohle

Mithilfe dieses Unterstützungsmaßnahmen werden die Schüler:innen sowohl bildlich, als auch verbal bei der Erstellung der Durchführung unterstützt. Zusätzlich steht den Schüler:innen die Lehrperson zur Verfügung, um im Gespräch zu einer Lösung zu kommen, falls der Impuls für die Formulierung der Durchführung noch zu herausfordernd ist.

#### 6.2.3.2 Durchführung mit Abbildungen und einem Lückentext

Ebene	dreidimensionale Abbildung	Einordnung
Planungshilfe		
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

Tabelle 53: Einordnung von Abbildungen mit Wortgeländer in die dreidimensionale Planungshilfe

Als mittlerer Impuls ist die Bildabfolge in der richtigen und logischen Reihenfolge vorgesehen, die eine Wortliste und Satzanfänge enthält (Abbildung 133).

## Durchführung

Beschreibe die Herstellung mit den Sprachhilfen.

**Wortliste:**

Brenner - Kohle - vorsichtig - glühen - Trichter - Schlauch - Spritze - Spritzenstempel - 5 mL Kalkwasser - Gas - Reagenzglas - aufgefängene

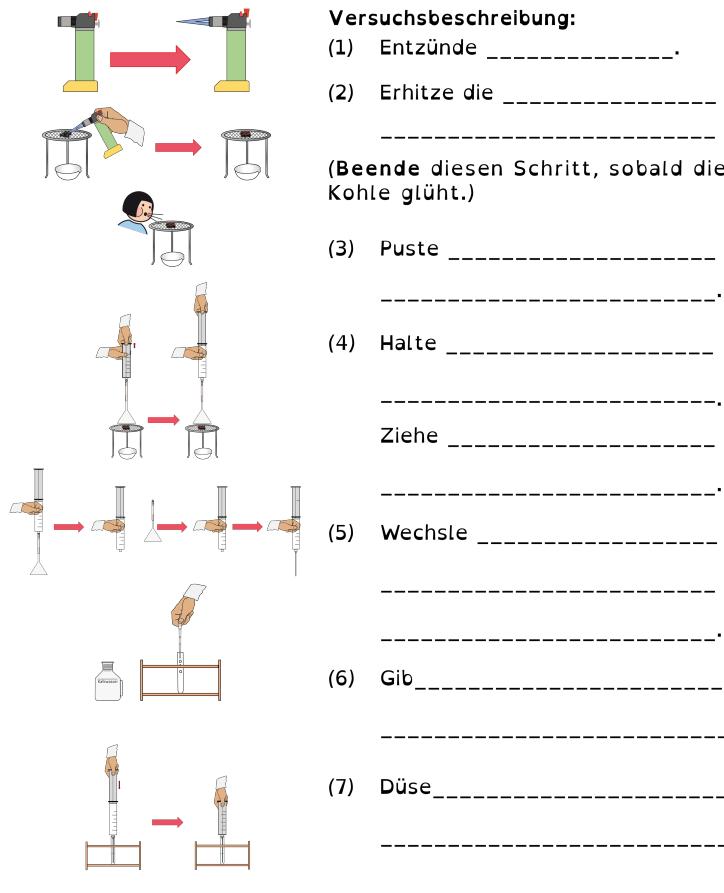


Abbildung 133: Ikonische Abstraktionen der Durchführung zum Verbrennen von Grillkohle mit Satzanfängen und Wortliste

Zuletzt können die Schüler:innen auf die Durchführung in leichter Sprache in analoger und digitaler Form zurückgreifen sowie auf ein Video, das die Handlungsschritte zeigt.

### 6.3 Differenzierung „endo- und exotherme Reaktion“

Die Einführung der Definition für die Aktivierungsenergie, die endo- und exothermen Reaktion und die Einführung der Enthalpie-Diagramme erfolgt darlegend-informativ an den Beispielen des Erhitzen von Holz unter Luftabschluss und dem Verbrennen von Grillkohle, um den Sachverhalt entsprechend an den bisherigen Erkenntnissen der Schüler:innen zu erklären. Aufgrund dessen, dass Energie ein nicht fassbarer und eher unwirklicher Begriff ist, nutzen die Schüler:innen zur Unterstützung im Umgang mit Energie symbolisch den Energiewürfel, um qualitativ ein Verständnis für Energie zu

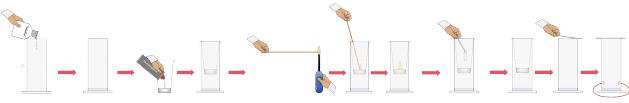
erhalten. Quantitativ wird eine beliebige Menge an Energiewürfeln eingesetzt, die an das jeweilige Beispiel angepasst ist. Gleichzeitig ist diese Form der Arbeit mit Modellen eine Variante zu hinterfragen, wie sich die Energiemengen wirklich verhalten und wie es zu weiterführenden Erkenntnissen führt.

Der konkrete Umgang mit den Energiewürfeln im Kontext der Aktivierungsenergie, den Vorgängen einer endo- oder exothermen Reaktion muss häufig angewendet werden, um im Langzeitgedächtnis der Schüler:innen verankert zu werden. Dies erfolgt im ständigen Umgang mit dem entsprechenden Modell an anderen Beispielen.

#### **6.4 Differenzierung Versuch 4: „Verbrennen von fossilen Brennstoffen“**

Exotherme Reaktionen sind für Schüler:innen einfach zu verstehen. Grund dafür ist, dass diese ständig im Alltag vorkommen und leicht zu identifizieren sind, indem thermische Energie, meist in Kombination mit Strahlungsenergie, an die Umgebung abgegeben wird. Die Verbrennung von fossilen Brennstoffen ist ein geeignetes Beispiel für diese Form der chemischen Reaktion. Die Auswertung dieser Versuche sieht eine Kombination auf der Stoffebene, auf der linearen Kausalität, und auf der Energieebene, die auf der wechselseitigen Kausalität der dreidimensionalen Planungshilfe zu verorten ist, vor. Neben der Verbrennung von Feuerzeugbenzin ist die Verbrennung von Feuerzeuggas vorgesehen. Die Differenzierung wird zur Veranschaulichung am Beispiel zur Verbrennung von Feuerzeugbenzin beschrieben und verhält sich äquivalent zu der Verbrennung von Feuerzeuggas.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 134 sowie im Anhang):

Name:	Klasse:	Datum:																
Thema: Die chemische Reaktion																		
<b>„Verbrennung von Feuerzeugbenzin“</b>																		
<b>Aufgabe:</b> <b>Untersuche</b> mittels Experiment die Verbrennungen von Feuerzeugbenzin. <b>Weise</b> anschließend die Reaktionsprodukte <b>nach</b> .																		
<b>1. Vorbereitung:</b> Stelle dir alle benötigten Materialien auf deinen Arbeitsplatz.																		
<b>Geräte:</b> <table border="1"> <tr> <td>(1) Standzylinder</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(5) Tiegelzange</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(2) Glasplatte</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(6) Feuerzeug</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(3) Teelicht-Gehäuse mit Halterung</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(7) Pipette</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(4) Holzspan</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			(1) Standzylinder	<input type="checkbox"/>	(5) Tiegelzange	<input type="checkbox"/>	(2) Glasplatte	<input type="checkbox"/>	(6) Feuerzeug	<input type="checkbox"/>	(3) Teelicht-Gehäuse mit Halterung	<input type="checkbox"/>	(7) Pipette	<input type="checkbox"/>	(4) Holzspan	<input type="checkbox"/>		
(1) Standzylinder	<input type="checkbox"/>	(5) Tiegelzange	<input type="checkbox"/>															
(2) Glasplatte	<input type="checkbox"/>	(6) Feuerzeug	<input type="checkbox"/>															
(3) Teelicht-Gehäuse mit Halterung	<input type="checkbox"/>	(7) Pipette	<input type="checkbox"/>															
(4) Holzspan	<input type="checkbox"/>																	
<b>Chemikalien:</b> <table border="1"> <tr> <td>(9) Feuerzeugbenzin</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(10) Kalkwasser</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>(11) Watesmo-Papier</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>			(9) Feuerzeugbenzin	<input type="checkbox"/>	(10) Kalkwasser	<input type="checkbox"/>			(11) Watesmo-Papier	<input type="checkbox"/>								
(9) Feuerzeugbenzin	<input type="checkbox"/>	(10) Kalkwasser	<input type="checkbox"/>															
		(11) Watesmo-Papier	<input type="checkbox"/>															
<b>2. Durchführung:</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schritt</th> <th>Durchführung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.1</td> <td>Fülle in den Standzylinder Zeigefingerbreit Kalkwasser.</td> </tr> <tr> <td>2.2</td> <td>Gib 5 Tropfen Benzin in das Teelicht-Gehäuse.</td> </tr> <tr> <td>2.3</td> <td>Hänge das Teelicht-Gehäuse in den Standzylinder.</td> </tr> <tr> <td>2.4</td> <td>Zünde das Benzin mit einem brennenden Holzspan an.</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>Weise die Reaktionsprodukte nach.</td> </tr> </tbody> </table>			Schritt	Durchführung	2.1	Fülle in den Standzylinder Zeigefingerbreit Kalkwasser.	2.2	Gib 5 Tropfen Benzin in das Teelicht-Gehäuse.	2.3	Hänge das Teelicht-Gehäuse in den Standzylinder.	2.4	Zünde das Benzin mit einem brennenden Holzspan an.	2.5	Weise die Reaktionsprodukte nach.				
Schritt	Durchführung																	
2.1	Fülle in den Standzylinder Zeigefingerbreit Kalkwasser.																	
2.2	Gib 5 Tropfen Benzin in das Teelicht-Gehäuse.																	
2.3	Hänge das Teelicht-Gehäuse in den Standzylinder.																	
2.4	Zünde das Benzin mit einem brennenden Holzspan an.																	
2.5	Weise die Reaktionsprodukte nach.																	
																		
1																		

<b>3. Beobachtung und Schlussfolgerung:</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Beobachtungen</th> <th>Schlussfolgerungen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stoffeigenschaften vorher und nachher:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energie:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bedingungen:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Beobachtungen	Schlussfolgerungen	Stoffeigenschaften vorher und nachher:		Energie:		Bedingungen:	
Beobachtungen	Schlussfolgerungen								
Stoffeigenschaften vorher und nachher:									
Energie:									
Bedingungen:									
<b>4. Auswertung:</b> <p>4.1 Formuliere die Wortgleichung.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; margin-top: 5px;"></div> <p>4.2 Erstelle das Niveaudiagramme für die chemische Reaktion.</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="margin-right: 10px;"><b>Enthalpie</b></span> <div style="flex-grow: 1; position: relative; width: 400px; height: 100px;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: 0; width: 100%; height: 100%; background-color: #f0f0f0; display: grid; grid-template-columns: 1fr 1fr 1fr; grid-template-rows: 1fr 1fr 1fr; grid-gap: 5px;"></div> </div> <span style="margin-left: 10px;"><b>Reaktion</b></span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <span><b>Ausgangsstoffe</b></span> <span><b>Ausgangsstoffe im aktivierten Zustand</b></span> <span><b>Reaktionsprodukte</b></span> </div>									
2									

Abbildung 134: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 4: „Verbrennen von Benzin“

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung</b>	Anleitung in einfacher Sprache, mit Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	strukturiertes Wortfeld, Zuordnungskarten, <i>chronologische Abfolge in Bildern</i> , Abbildungen vorher/nachher, Video
<b>Auswertung</b>	Wortfeld, <i>AR-Sequenz für die exotherme Reaktion</i> , <i>Energiewürfelszenario</i> , Zuordnung, Puzzle

Tabelle 54: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 4: „Verbrennen von Benzin“

Im Folgenden sollen für die Beobachtung die *chronologische Abfolge in Bildern* und für die Auswertung die *AR-Sequenz* und das *Energiewürfelszenario* für die exotherme Reaktion als Unterstützungsangebote des Versuchs beschrieben werden. Alle anderen Unterstützungsmaßnahmen zur Vorbereitung und Durchführung sind äquivalent zu den bereits beschriebenen Unterstützungsmaßnahmen anderer Versuche, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

#### 6.4.1 Beobachtung

In der Tabelle für die Beobachtungen sind die wahrgenommenen Eindrücke in Bezug auf den Versuch von den Schüler:innen zu notieren und die Schlussfolgerungen zu ziehen. Dazu soll auf der gegenständlichen Ebene der Versuch an sich, mit den entsprechenden Geräten und Chemikalien, an denen die Beobachtung zu erkennen war, dienen.

#### 6.4.1.1 Chronologische Abfolge der Beobachtung in Bildern

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		Prozessbeschreibung
Abstraktionsgrad		bildliche und verbale Ebene
gestufte Unterstützung		leichter Impuls

Tabelle 55: Einordnung einer chronologischen Abfolge der Beobachtung in die dreidimensionale Planungshilfe

Auf der bildlichen Ebene ist als leichter Impuls die Durchführung mit den Beobachtungen chronologisch dargestellt (siehe Abbildung 135), wobei, ähnlich einer Concept-Map, die Schritte verbalisiert sind.

### **Beobachtung in Bildern**

Notiere die Beobachtungen auf deinem Arbeitsblatt.



Abbildung 135: Beobachtungen zum Verbrennen von Feuerzeugbenzin zusammengefasst

Anhand dieser Grafik sollen die Schüler:innen ihre Beobachtungen in der Tabelle notieren.

### 6.4.2 Auswertung

Die Auswertung des Versuchs bezieht sich auf zwei Aspekte. Zum einen soll die Wortgleichung formuliert (lineare Kausalität) werden, wozu ein Wortfeld und ein Puzzle genutzt werden können, und zum anderen auf die Erstellung des Enthalpie-Diagramms (wechselseitige Kausalität).

Die Formulierung der Wortgleichung kann mit einem Wortfeld oder durch das bereitgestellte Puzzle erfolgen.

Für die Erstellung des Enthalpie-Diagramms können die Schüler:innen ebenfalls ein Wortfeld mit den entsprechenden Begriffen, die notwendig sind, nutzen oder auf die eingeführten Energiewürfel zurückgreifen. Für den Umgang mit den Energiewürfeln wurden mehrere lernstrukturierende Hilfen entwickelt, die nun vorgestellt werden.

#### 6.4.2.1 AR-Sequenz für die exotherme Reaktion

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Einordnung
Komplexitätsgrad	wechselseitige Kausalität
Abstraktionsgrad	gegenständliche und symbolische Ebene
gestufte Unterstützung	leichter Impuls

Tabelle 56: Einordnung einer AR-Sequenz für die exotherme Reaktion in die dreidimensionale Planungshilfe

In der Arbeit mit den Energiewürfeln werden die Schüler:innen dahingehend unterstützt, dass die benötigten Seiten des Würfels (Abbildung 136) vorgegeben werden.

### Energiewürfel

Verwende zehn Energiewürfel für das Niveaudiagramm.  
Du benötigst die folgenden Seiten des Energiewürfels:



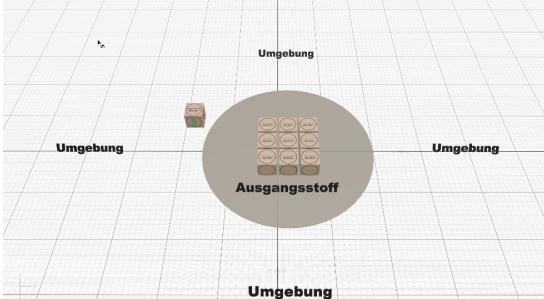
**Sieh dir die Animation für den Ablauf einer exothermen Reaktion an.**

**Stelle es für das Verbrennen von Feuerzeugbenzin nach.**



Abbildung 136: Energiewürfel und QR-Codes für eine exotherme Reaktion

Außerdem können die Lernenden über den QR-Code (Abbildung 136) die AR-Sequenz nutzen, um nachzuvollziehen, wie mit den Würfeln bei einer exothermen Reaktion umzugehen ist.

Abfolge der AR-Sequenz	Beschreibung
	<p>Im Ausgangszustand des Szenarios ist in der Mitte ein Feld abgebildet, das den Stoff symbolisiert und den Raum für die Energiewürfel von der Umgebung abgrenzt. Die Umgebung wird zusätzlich verbal dargestellt. In dem vorgesehenen Raum für die Energie des Ausgangsstoffes sind neun Energiewürfel, die auf der oberen Seite Enthalpie anzeigen, angeordnet. In der Umgebung befindet sich ein Würfel mit thermischer Energie auf der Oberseite, der den Prozess initiiert. Auf der stofflichen Ebene wird der Ausgangsstoff mittels thermischer Energie entzündet/entflammt.</p>

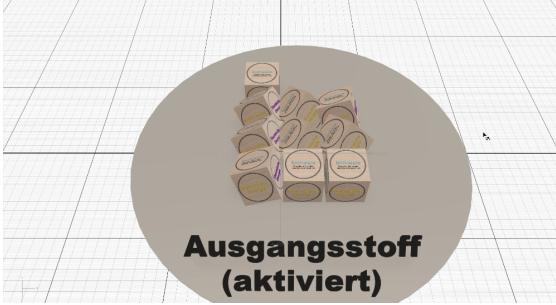
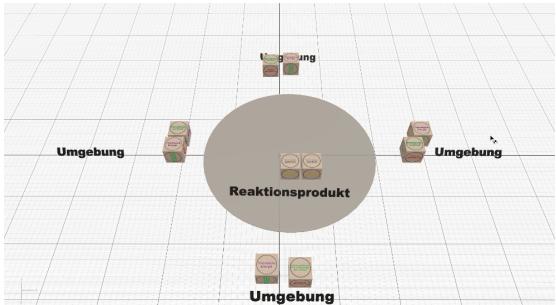
	<p>Durch Schieben des Würfels aus der Umgebung in den Raum des Ausgangsstoffes wird dieser aktiviert und die chemische Reaktion setzt ein. Für den Ablauf wird die Enthalpie in andere Energieformen wie Strahlungsenergie oder thermischer Energie umgewandelt und der Würfel dazu auf die jeweilige Seite umgedreht.</p>
	<p>Anschließend werden die thermische Energie und die Strahlungsenergie an die Umgebung abgegeben, indem die Würfel dorthin geschoben werden. Das Reaktionsprodukt weist eine geringere Enthalpie als der Ausgangsstoff auf. Alle Würfel können nicht umgewandelt werden, da ein Stoff immer eine gewisse Menge an Enthalpie enthält.</p>

Tabelle 57: Beschreibung der AR-Sequenz für eine exotherme Reaktion

Für den Platz am Tisch ist eine Vorlage mit den Begriffen vorgesehen, wo die Energiewürfel hineinzuschlieben und ggf. umzudrehen sind, wenn Änderungen stattfinden, um den Ablauf für das Beispiel am Tisch durchzuführen. Da dies trotzdem eine gewisse geistige Herausforderung und einen neuen Aspekt darstellt, können die Schüler:innen eine Vorlage für die Handlungsschritte mit dem Modell verwenden, um die Schritte nachzuvollziehen.

#### 6.4.2.2 Energiewürfelszenario

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale	Einordnung
Komplexitätsgrad		wechselseitige Kausalität
Abstraktionsgrad		gegenständliche und symbolische Ebene
gestufte Unterstützung		mittlerer Impuls

Tabelle 58: Einordnung eines Energiewürfelszenarios in die dreidimensionale Planungshilfe

Das Szenario (Abbildung 137 und Abbildung 138) ist so aufgebaut, dass in der linken Spalte die Abbildungen zur Handlung mit den Energiewürfeln vorliegen und dem Arbeitsplatz der Schüler:innen entsprechen sollen unter Verwendung der Unterlagen sowie den vorgesehenen Begriffen. Rechts in der Spalte befindet sich die Beschreibung, die in einfacher Sprache formuliert ist, unter Anwendung der Schriftart *OpenDyslexic2*. In schwarzer Schrift ist die stoffliche Ebene beschrieben. In der blauen Schrift sind die Handlungsschritte mit den Würfeln aufgeführt, nach denen vorzugehen ist.

Energiewürfelszenario Verbrennen von Feuerzeugbenzin	
Umgebung	<p>Das Feuerzeugbenzin ist eine brennbare Flüssigkeit. Sauerstoff ist ein Gas. Das Feuerzeugbenzin und der Sauerstoff haben eine bestimmte Menge an Enthalpie.</p> <p><b>Nimm für die Energiemenge acht Energiewürfel.</b> <b>Zu Beginn zeigen alle Würfel oben Enthalpie.</b></p> 
Umgebung	<p>Das Feuerzeugbenzin wird durch den brennenden Holzspan entzündet. Thermische Energie wird aus der Umgebung zu dem Feuerzeugbenzin transportiert.</p> <p><b>Nimm zwei weitere Energiewürfel.</b> <b>Beide Würfel zeigen oben Thermische Energie.</b> <b>Schiebe die Würfel (thermische Energie) zu den Würfeln (Enthalpie) von Feuerzeugbenzin und Sauerstoff.</b></p> 
Umgebung	<p>Durch die thermische Energie wird das Feuerzeugbenzin entzündet. Dabei wird thermische Energie in Enthalpie umgewandelt. Das Feuerzeugbenzin mit dem umliegenden Sauerstoff ist nun aktiviert. Es findet eine chemische Reaktion statt.</p> <p><b>Drehe einen Würfel der thermischen Energie auf Enthalpie.</b></p> 

Abbildung 137: Energiewürfelszenario zur Verbrennung von Feuerzeugbenzin Teil I

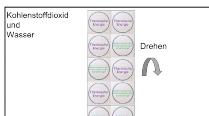
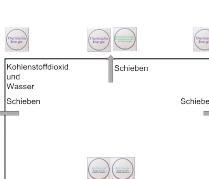
Energiewürfelszenario Verbrennen von Feuerzeugbenzin	
Umgebung	<p>Ein bestimmte Menge der Enthalpie des Feuerzeugbenzin und des Sauerstoffs werden in thermische Energie und Strahlungsenergie (Licht) umgewandelt.</p> <p>Die Ausgangsstoffe werden in die Reaktionsprodukte umgewandelt.</p> <p><b>Drehe drei Würfel mit Enthalpie auf Strahlungsenergie.</b> <b>Drehe vier Würfel mit Enthalpie auf Thermische Energie.</b></p> 
Umgebung	<p>Die Flamme leuchtet und es wird warm. Die thermische Energie und die Strahlungsenergie (Licht) werden in die Umgebung transportiert.</p> <p>Die Flamme erlischt.</p> <p>Das Feuerzeugbenzin ist vollständig verbrannt.</p> <p>Kohlenstoffdioxid und Wasser sind entstanden.</p> <p>Beide Reaktionsprodukte haben Enthalpie.</p> <p><b>Schiebe die Würfel (Thermische Energie und Strahlungsenergie) in die Umgebung.</b></p> <p>Zum Schluss bleiben zwei Würfel Enthalpie für die Reaktionsprodukte übrig.</p> <p>Insgesamt ist keine Energie verloren gegangen.</p> <p>Zu Beginn und zum Ende sind zehn Energiewürfel vorhanden.</p> 
Umgebung	

Abbildung 138: Energiewürfelszenario zur Verbrennung von Feuerzeugbenzin Teil II

Nachdem die Schüler:innen mithilfe des Modells die Änderung der Energie nachvollzogen haben, gilt es nun, das Enthalpie-Diagramm zu erstellen. Auf der gegenständlichen Ebene können dazu die Würfel verwendet werden, indem die Energiemenge der Ausgangsstoffe, die Energiemenge der Ausgangsstoffe im aktivierte Zustand und die Energiemenge der Reaktionsprodukte eingezeichnet werden. Vergleichen die Schüler:innen die unterschiedlichen Mengen aus dem zuvor durchgeführten Szenario, sollten sie erkennen, dass die Mengen je nach Stadium des Prozesses unterschiedlich hoch sind. Entweder zeichnen die Schüler:innen das Säulendiagramm oder das bereits fortgeschrittenere Diagramm, bei dem nur die obere Linie der Säule eingezeichnet wird.

#### 6.4.2.3 Zuordnung zur Erstellung von Enthalpie-Diagrammen

Ebene	dreidimensionale Planungshilfe	Einordnung
Komplexitätsgrad		wechselseitige Kausalität
Abstraktionsgrad		symbolische Ebene
gestufte Unterstützung		schwerer Impuls

Tabelle 59: Einordnung von Zuordnungskarten in die dreidimensionale Planungshilfe

Den Schüler:innen kann eine Strukturierungshilfe angeboten werden, in der die Begriffe zugeordnet werden müssen (Abbildung 139). In Vorbereitung zur Verwendung der Hilfe müssen die Türme der Energiewürfel und die Begriffe vorher mit einer Schere ausgeschnitten werden.

## Zuordnen

**Ordne dem Diagramm die Begriffe und die Türme aus Energiewürfeln zu.**

**Spreche mit deiner Lehrperson über deinen Lösungsvorschlag.  
Übertrage das Diagramm auf dein Arbeitsblatt.**

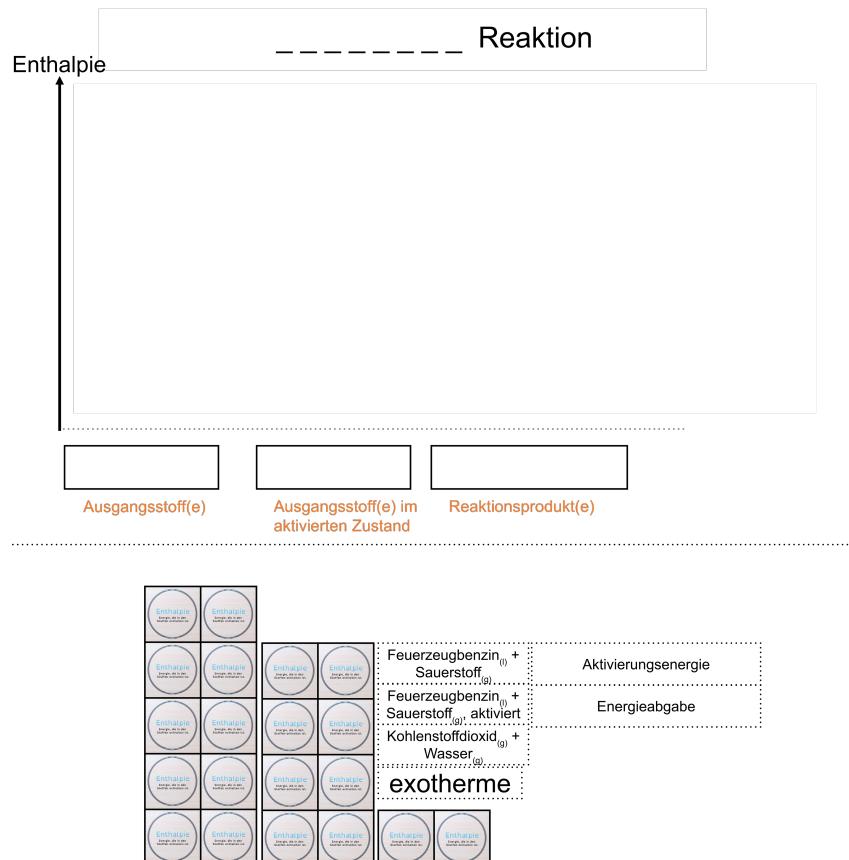


Abbildung 139: Zuordnen zur Erstellung des Enthalpie-Diagramms

Die Lösung kann mit anderen Schüler:innen oder der Lehrperson diskutiert werden, bevor sie anschließend auf das eigene Arbeitsblatt übertragen wird. Eine weitere Variante bezieht sich auf das Zuordnen der Begriffe zu dem Enthalpie-Diagramm (Abbildung 140), wobei ebenfalls die Lösung zu diskutieren und auf das eigene Arbeitsblatt zu übertragen ist.

## Zuordnen II

Ordne dem Diagramm die Begriffe aus der Wortliste zu.  
Übertrage das Diagramm auf dein Arbeitsblatt.

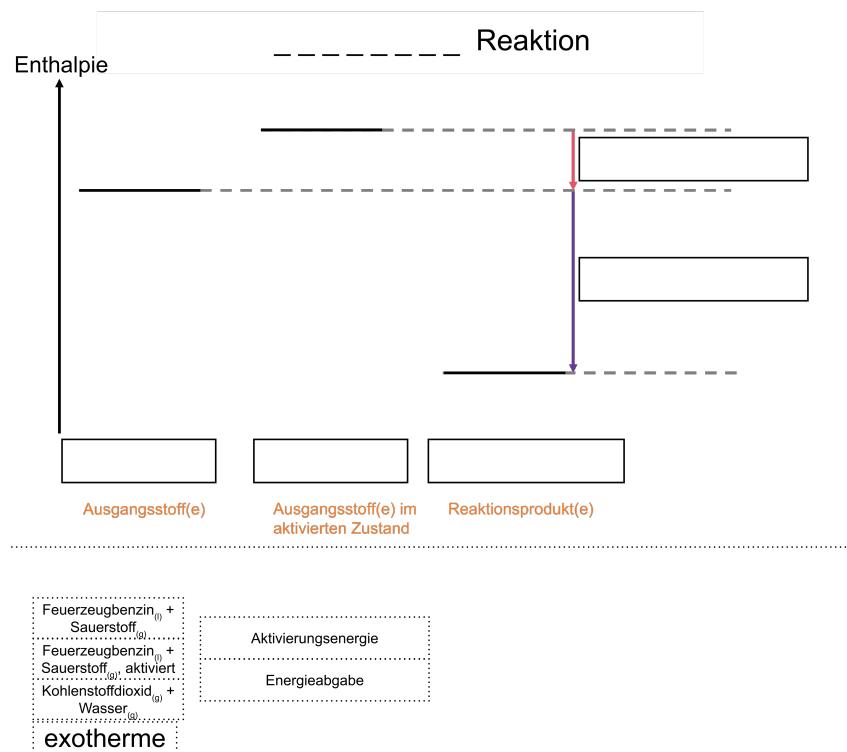


Abbildung 140: Zuordnen zur Erstellung des Enthalpie-Diagramms mittlerer Impuls

Nachdem die exothermen Reaktionen an zwei weiteren Beispielen durchgeführt und gefestigt wurden, erfolgt anschließend die Betrachtung einer endothermen Reaktion aus der Alltagswelt der Schüler:innen.

### 6.5 Differenzierung Versuch 5: „Lösen einer Brausetablette in Wasser“

Das Lösen einer Brausetablette in Wasser ist eine fast alltägliche Handlung, und fast alle Schüler:innen haben dies in ihrer Lebenswelt bereits erlebt. Innerhalb des Chemieunterrichts soll dieses Phänomen genauer untersucht und geklärt werden, ob es sich bei dem Prozess um eine chemische Reaktion oder eine Aggregatzustandsänderung handelt.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 141 sowie im Anhang):

Name:	Klasse:	Datum:
Thema: Die chemische Reaktion		„Lösen einer Brausetablette“

**„Lösen einer Brausetablette“**

**Aufgabe:**

**Untersuche** mittels Experiment, was passiert, wenn eine Brausetablette in einen Erlenmeyerkolben mit Wasser gegeben wird.

**1. Vorbereitung:**  
Stelle dir alle benötigten Materialien auf deinen Arbeitsplatz.

<b>Geräte:</b>			
(1) 60-mL-Spritze	<input type="checkbox"/>	(6) Feuerzeug	<input type="checkbox"/>
(2) Silikonschlauch mit Adapter	<input type="checkbox"/>	(7) Reagenzglasständer	<input type="checkbox"/>
(3) Erlenmeyerkolben	<input type="checkbox"/>	(8) Reagenzglas	<input type="checkbox"/>
(4) Thermometer	<input type="checkbox"/>	(9) Pipette	<input type="checkbox"/>
(5) Holzspan	<input type="checkbox"/>		

<b>Chemikalien:</b>			
(10) Wasser	<input type="checkbox"/>	(12) Brausetablette	<input type="checkbox"/>
(11) Kalkwasser	<input type="checkbox"/>		

**2. Durchführung:**

Schritt	Durchführung
2.1	<b>Miss</b> die Temperatur des Wassers mit dem Thermometer. <b>Notiere</b> die Temperatur ( $T_1$ ).
2.2	Die Brausetablette wird in den Erlenmeyerkolben mit dem Wasser gegeben.
2.3	<b>Miss</b> die Temperatur der Lösung mit dem Thermometer. <b>Notiere</b> die tiefste Temperatur ( $T_2$ ).
2.4	<b>Entzünde</b> den Holzspan mit dem Feuerzeug und halte ihn in die Gasphase des Erlenmeyerkolbens.
2.5	<b>Entnimm</b> aus der Gasphase des Erlenmeyerkolbens 30 mL Gas. <b>Verwende</b> dazu die Spritze und den daran angeschlossenen Silikonschlauch.
2.6	<b>Düse</b> das aufgefangene Gas in 3 mL Kalkwasser.

**Abbildung 141:** Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 5: „Lösen einer Brausetablette“

Für die Bearbeitung der Aufgaben des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung</b>	Anleitung in einfacher Sprache mit, Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	strukturiertes Wortfeld, Zuordnungskarten, Abbildungen vorher/nachher, Video
<b>Auswertung</b>	Wortfeld, <i>AR-Sequenz für die endotherme Reaktion, Beobachtung mit Wärmebildkamera, Energiewürfelszenario</i> , Zuordnung, Puzzle

Tabelle 60: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 5: „Lösen einer Brausetablette“

Im Folgenden sollen die Unterstützungsangebote für die Auswertung betrachtet werden. Insbesondere wird auf die Beobachtung mit einer *Wärmebildkamera* eingegangen sowie auf die *AR-Sequenz* und das *Energiewürfelszenario* einer endothermen Reaktion innerhalb der Auswertung. Alle anderen Unterstützungsmaßnahmen zur Vorbereitung und Durchführung sind äquivalent zu den bereits beschriebenen Unterstützungsmaßnahmen anderer Versuche, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

### 6.5.1 Auswertung

Die Auswertung des Versuchs ist analog zu der Verbrennung von fossilen Brennstoffen und bezieht sich auf die Formulierung der Wortgleichung, wozu ein Wortfeld und ein Puzzle genutzt werden können, und auf die Erstellung des Enthalpie-Diagramms.

Um das Diagramm zu erstellen, muss zunächst feststehen, ob es sich um eine exo- oder eine endotherme Reaktion handelt. Die Schüler:innen gehen oft davon aus, dass es sich um eine exotherme Reaktion handelt, da die entstehende Lösung kälter ist als der Ausgangsstoff Wasser. Wärme wird also scheinbar abgegeben. Um diesen Prozess richtig zu verstehen, muss sichtbar werden, dass von der Umgebung thermische Energie (Wärmeenergie) in das Reaktionsgefäß transportiert wird. Dazu wird das bildgebende Verfahren der Thermografie angewendet. Der Versuch ist in dem Exkurs genauer beschrieben. Der Fokus soll an dieser Stelle auf die Beobachtung und Deutung gelegt werden.

#### 6.5.1.1 Wärmebildkamera

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale	Einordnung
Komplexitätsgrad		wechselseitige Kausalität
Abstraktionsgrad		gegenständliche und bildliche Ebene
gestufte Unterstützung		leichter Impuls

Tabelle 61: Einordnung einer Wärmebildkamera in die dreidimensionale Planungshilfe

Zunächst sind die Umrisse der Kristallisierschale sowie die des Spritzenkörpers, die sich im Zentrum befindet, auf den Wärmebildaufnahmen zu erkennen, siehe (Abbildung 142).

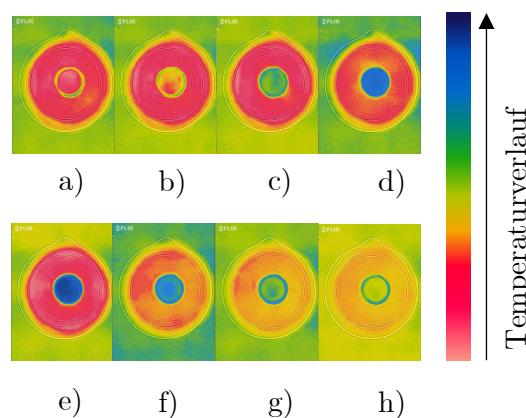
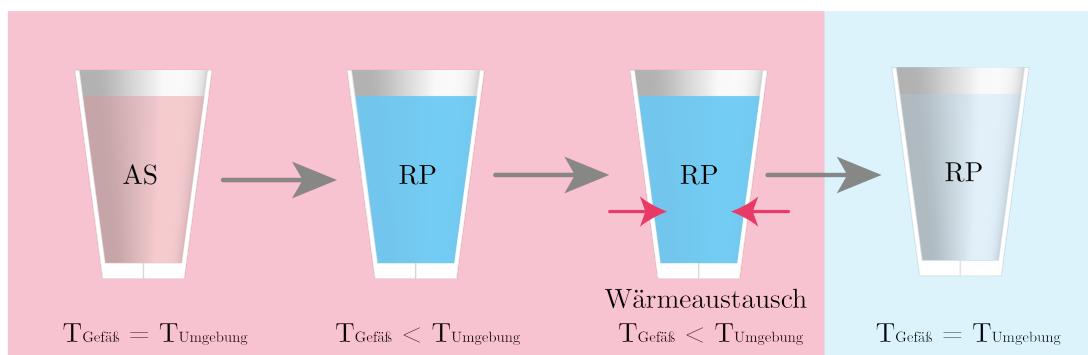


Abbildung 142: Wärmebildaufnahmen während des Lösens einer Brausetablette in Wasser

Betrachtet man die Temperaturbereiche (Bild a), so ist erkennbar, dass das auf ca. 25 °C temperierte Wasser den höchsten Wärmezustand hat und rot wiedergegeben wird. Die Spritzenwand weist eine Temperatur von ungefähr 24 °C auf und hebt sich farblich durch einen gelben Rand, von dem Wasser, ab.

Ein ähnlicher Wärmezustand ist am Rand der Kristallisierschale zu erkennen, an die das Wasser grenzt. Die Umgebungstemperatur der Tischauflage beträgt ungefähr 23 °C und wird gelb-grünlich dargestellt. Sobald die Brausetablette in den Spritzenkörper gegeben wird (Bild b) und mit Wasser in Kontakt tritt, ist zunächst ein gelblicher Wärmezustand zu erkennen, der anschließend von einer grünlichen Farbgebung (Bild c) zu einem blauen Temperaturzustand übergeht (Bilder d – e). Dieser blaue Temperaturzustand ist gleichzeitig die während der Reaktion niedrigste gemessene Temperatur und beträgt 17 °C. Nachdem sich die Brausetablette vollständig gelöst hat (Bild f), konnte von der entstandenen Lösung eine Temperatur von 18 °C ermittelt werden. Im weiteren Verlauf steigt diese kontinuierlich auf einen Endzustand von 22,4 °C an, während die Temperatur des Wassers in der Kristallisierschale auf 23,6 °C sinkt. Während des Lösungsprozesses ist darüber hinaus eine Gasbildung sowie eine orange Verfärbung des farblosen Wassers innerhalb der Spritze beobachtbar.

Entscheidend für die Lernenden ist zu erkennen, dass sich nicht von der Reaktion her Kälte „ausbreitet“, sondern vom Wasser her Wärme in den Reaktionsraum transferiert wird. Die Temperatur erniedrigt sich innerhalb der Spritze während der Reaktion zunächst. Aus der Umgebung wird dann thermische Energie in den Reaktionsraum transportiert, die Temperatur steigt dort wieder. Dargestellt ist der Prozess bildlich in Abbildung 143. In dem Versuch ist die Umgebung das Wasser um die Spritze.



**Abbildung 143:** Ikonische Darstellung des Wärmetransportes einer endothermen Reaktion  
Quelle: verändert nach T. Wagner [123, S. 670]

Für die Erstellung des Enthalpie-Diagramms können die Schüler:innen ein Wortfeld nutzen, das die notwendigen Begriffe enthält. Als weiterer Impuls im Sinne einer gegenständlichen Handlung können die Energiewürfel herangezogen werden.

### 6.5.1.2 AR-Sequenz für die endotherme Reaktion

Ebene Planungshilfe	dreidimensionale Einordnung
Komplexitätsgrad	wechselseitige Kausalität
Abstraktionsgrad	gegenständliche und symbolische Ebene
gestufte Unterstützung	leichter Impuls

Tabelle 62: Einordnung AR-Sequenz für die endotherme Reaktion in die dreidimensionale Planungshilfe

In der Arbeit mit den Energiewürfeln werden die Schüler:innen dahingehend unterstützt, dass die benötigten Seiten des Würfels vorgegeben werden (Abbildung 144).

#### Energiewürfel

Verwende zehn Energiewürfel für das Niveaudiagramm.  
Du benötigst die folgenden Seiten des Energiewürfels:

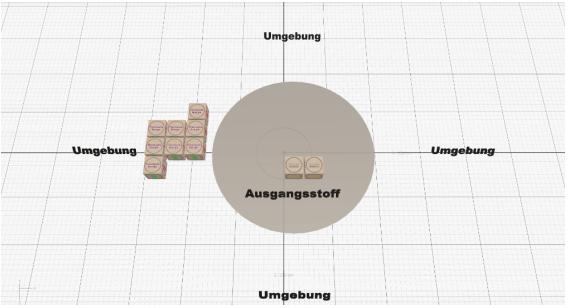
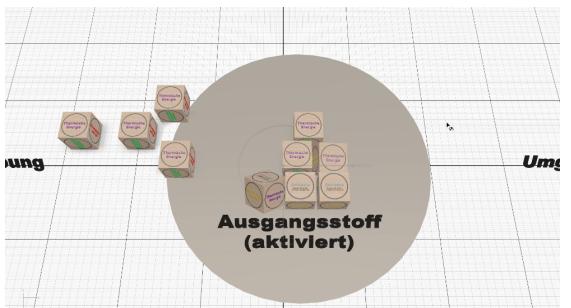


Sieh dir die Animation für den Ablauf einer endothermen Reaktion an.  
Stelle es für das Lösen eine Braustablette nach.



Abbildung 144: Energiewürfel und QR-Codes für eine endotherme Reaktion

Analog zu der exothermen Reaktion, an den Beispielen zur Verbrennung, können die Schüler:innen für die Auswertung im Rahmen auf der wechselseitigen Kausalität die Variable der Energieumwandlung mithilfe der AR-Sequenz (Abbildung 144) für eine endotherme Reaktion unter Anwendung der Energiewürfel nachverfolgen.

Abfolge der AR-Sequenz	Beschreibung
	<p>Im Ausgangszustand des Szenarios ist in der Mitte ein Feld abgebildet, das den Stoff symbolisiert und den Raum für die Energiewürfel von der Umgebung abgrenzt, die verbal dargestellt ist. Der Raum für die Energiemenge des Ausgangsstoffes enthält zwei Energiewürfel, die auf der oberen Seite Enthalpie anzeigen. In der Umgebung befinden sich acht Würfel mit thermischer Energie auf der Oberseite, die den Prozess initiieren. Auf der stofflichen Ebene werden die Ausgangsstoffe in Verbindung gebracht und von außen strömt thermische Energie zu dem System.</p>
	<p>Durch das Schieben der Würfel aus der Umgebung in den Raum des Ausgangsstoffes wird dieser aktiviert und die chemische Reaktion setzt ein. Für den Ablauf wird die thermische Energie in eine andere Energieform (Enthalpie) umgewandelt und der Würfel dazu auf die jeweilige Seite umgedreht.</p>

	<p>Zum Schluss wird die Aktivierungsenergie in Form von thermischer Energie an die Umgebung abgegeben, indem ein Würfel dorthin geschoben wird. Das Reaktionsprodukt weist eine höhere Enthalpie als der Ausgangsstoff auf.</p>
--	---

Tabelle 63: Beschreibung der AR-Sequenz für eine endotherme Reaktion

Als schwerer Impuls ist das Energiewürfel-Szenario vorgesehen, wie in 6.4.2.1, mit dem die Schritte im Umgang mit den Energiewürfeln für die endotherme Reaktion beschrieben werden können. Ein weiterer schwerer Impuls ist die Zuordnung von Begriffen und Symbolen zur Erstellung des Enthalpie-Diagramms. Die Erkenntnisse aus dieser Handlung werden anschließend von den Schüler:innen auf ihr eigenes Arbeitsblatt übertragen.

Zum Schluss der Versuchsreihe untersuchen die Schüler:innen die Vorgänge bei einer Kerze, dazu soll zunächst mittels Versuche untersucht werden, welcher Teil einer Kerze für die langanhaltenden Flamme verantwortlich ist.

## 6.6 Differenzierung Versuch 6-10: „Was brennt bei einer Kerze?“

Die Schüler:innen sind zunächst aufgefordert eine Vermutung aufzustellen und notieren diese auf ihrem Arbeitsblatt.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 145 sowie im Anhang):

Name:	Klasse:	Datum:																				
Thema: Die chemische Reaktion																						
<b>„Was brennt bei einer Kerze?“</b>																						
<p><b>Vorüberlegung:</b> Stelle eine Vermutung auf, ob das Kerzenwachs oder der Docht bei einer Kerze für die langanhaltende Flamme verantwortlich ist.</p> 																						
<p><b>Aufgabe:</b> <b>Untersuche</b> mittels Experimente, ob deine Vermutung richtig ist.</p>																						
<p><b>Experimentierliste</b></p> <p>Führe die Schülerexperimente (SE) <b>durch</b>. Beobachte die Demonstrationsexperimente (DE).</p> <p>Beginne mit den Experimenten passend zu deiner Vermutung. Folge dabei der Reihenfolge der Experimente. Hake durchgeführte (SE) oder beobachtete (DE) Experimente <b>ab</b>.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Experimente zum Docht</th> <th colspan="2">Experimente zum Kerzenwachs</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Verbrennen eines Dochtes (SE)</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>1. Brennbarkeit von Kerzenwachs (DE)</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2. Rolle des Dochtes (DE)</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>2. Lage der Wachsdämpfe (SE)</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>3. Hüpfende Flamme (SE)</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>4. Tochterflamme (SE)</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>			Experimente zum Docht		Experimente zum Kerzenwachs		1. Verbrennen eines Dochtes (SE)	<input type="checkbox"/>	1. Brennbarkeit von Kerzenwachs (DE)	<input type="checkbox"/>	2. Rolle des Dochtes (DE)	<input type="checkbox"/>	2. Lage der Wachsdämpfe (SE)	<input type="checkbox"/>			3. Hüpfende Flamme (SE)	<input type="checkbox"/>			4. Tochterflamme (SE)	<input type="checkbox"/>
Experimente zum Docht		Experimente zum Kerzenwachs																				
1. Verbrennen eines Dochtes (SE)	<input type="checkbox"/>	1. Brennbarkeit von Kerzenwachs (DE)	<input type="checkbox"/>																			
2. Rolle des Dochtes (DE)	<input type="checkbox"/>	2. Lage der Wachsdämpfe (SE)	<input type="checkbox"/>																			
		3. Hüpfende Flamme (SE)	<input type="checkbox"/>																			
		4. Tochterflamme (SE)	<input type="checkbox"/>																			
<p><b>Durchführung:</b> Folge den Anweisungen, die auf den Versuchsanleitungen der jeweiligen Experimente stehen.</p>																						

1

**Beobachtung und Schlussfolgerung:**

Experimente zum Docht	
Beobachtungen	Schlussfolgerungen
1. Verbrennen eines Dochtes	
2. Die Funktion des Dochtes in einer Kerze	

Experimente zum Kerzenwachs	
Beobachtungen	Schlussfolgerungen
1. Überprüfung der Brennbarkeit von Kerzenwachs	
2. Lage der Wachsdämpfe in einer Kerzenflamme	
3. Hüpfende Flamme	
4. Tochterflamme	

**Auswertung:**

Begründe mit Hilfe der Erkenntnisse aus den Experimenten, ob deine aufgestellte Vermutung richtig oder falsch war.  
Erkläre dazu, welche Funktion der Docht und das Kerzenwachs hat.

2

Abbildung 145: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 6-10: „Was brennt bei einer Kerze?“

Die Schüler:innen führen mehrere Versuche durch, bzw. beobachten Demonstrationsexperimente, die auf dem Arbeitsblatt aufgelistet sind. Während des Unterrichtsgeschehens sind zu dem Docht ein Schülerexperiment und ein Demonstrationsexperiment und für die Experimente zum Kerzenwachs drei Schülerexperimente und ein Demonstrationsexperiment vorgesehen, die an verschiedenen Stationen innerhalb des Chemieraumes aufgebaut sind. An den jeweiligen Stationen befinden sich die benötigten Geräte und Chemikalien.

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung</b>	Anleitung in einfacher Sprache, mit Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	Wortfeld, Zuordnungskarten, Wortgeländer, Video
<b>Auswertung</b>	Wortfeld, Wortgeländer, Satzmuster

**Tabelle 64: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 6-10: „Was brennt bei einer Kerze?“**

Die Unterstützungsmaßnahmen zur Vorbereitung, Durchführung, Beobachtung und Auswertung sind äquivalent zu den bereits beschriebenen Unterstützungsmaßnahmen zu anderen Versuchen, sodass auf den Anhang verwiesen wird.

Nachdem die Schüler:innen zu der Erkenntnis gelangt sind, welcher Bestandteil einer Kerze brennt, untersuchen die Schüler:innen diesen Aspekt hinsichtlich der chemischen Reaktion.

### 6.7 Differenzierung Versuch 11: „Vorgänge in einer brennenden Kerze“

In einem Schülerexperiment gehen die Lernenden der Fragestellung nach, welche Prozesse ablaufen, wenn eine Kerze brennt. Um diese aufzuschlüsseln, wenden die Schüler:innen alle bisher erworbenen Erkenntnisse an und festigen ihr Wissen.

Zu diesem Versuch erhalten alle Schüler:innen das folgende Arbeitsblatt mit den entsprechenden Aufgaben (siehe Abbildung 146 und Abbildung 147 sowie im Anhang):

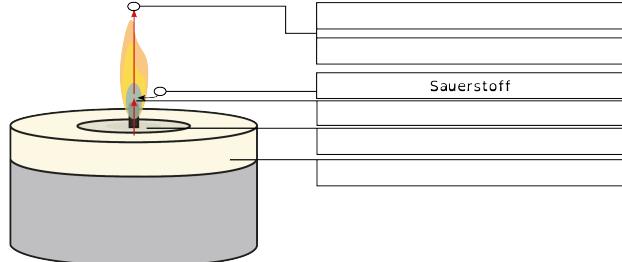
Name:	Klasse:	Datum:																
<b>Thema: Die chemische Reaktion</b>																		
<b><u>„Vorgänge einer brennenden Kerze“</u></b>																		
<b>Aufgabe:</b> <b>Untersuche</b> mittels Experiment, welche Prozesse ablaufen, wenn eine Kerze brennt.																		
<b>1. Vorbereitung:</b> Stelle dir alle benötigten Materialien auf deinen Arbeitsplatz.																		
<b>Geräte:</b> <table border="0"> <tr> <td>(1) Becherglas</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(5) Reagenzglasländer</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(2) Feuerzeug</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(6) Reagenzglas</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(3) Reagenzglasklammer</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(7) Pipette</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(4) Stopfen</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			(1) Becherglas	<input type="checkbox"/>	(5) Reagenzglasländer	<input type="checkbox"/>	(2) Feuerzeug	<input type="checkbox"/>	(6) Reagenzglas	<input type="checkbox"/>	(3) Reagenzglasklammer	<input type="checkbox"/>	(7) Pipette	<input type="checkbox"/>	(4) Stopfen	<input type="checkbox"/>		
(1) Becherglas	<input type="checkbox"/>	(5) Reagenzglasländer	<input type="checkbox"/>															
(2) Feuerzeug	<input type="checkbox"/>	(6) Reagenzglas	<input type="checkbox"/>															
(3) Reagenzglasklammer	<input type="checkbox"/>	(7) Pipette	<input type="checkbox"/>															
(4) Stopfen	<input type="checkbox"/>																	
<b>Chemikalien:</b> <table border="0"> <tr> <td>(8) Kerze</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>(10) Watesmo-Papier</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(9) Kalkwasser</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			(8) Kerze	<input type="checkbox"/>	(10) Watesmo-Papier	<input type="checkbox"/>	(9) Kalkwasser	<input type="checkbox"/>										
(8) Kerze	<input type="checkbox"/>	(10) Watesmo-Papier	<input type="checkbox"/>															
(9) Kalkwasser	<input type="checkbox"/>																	
<b>2. Durchführung:</b>																		
<b>Schritt</b>	<b>Durchführung</b>																	
2.1	Entzünde die Kerze mit dem Feuerzeug.																	
2.2	Führe das Becherglas mit der Öffnung nach unten über die Flamme der Kerze. Weise das Reaktionsprodukt nach.																	
2.3	Spanne das Reagenzglas mit der Reagenzglasklammer ein und halte es für 10 Sekunden mit der Öffnung nach unten über die Flamme der Kerze.																	
2.4	Drehe das Reagenzglas mit der Öffnung nach oben.																	
2.5	Weise das Reaktionsprodukt mit Watesmo-Papier nach.																	
<b>Nachweis von Kohlenstoffdioxid</b>																		
2.5	Miss 3 mL Kalkwasser mit der Pipette ab und gib es in das Reagenzglas.																	
2.6	Verschließe das Reagenzglas mit dem Stopfen und schüttle es.																	

**Abbildung 146: Arbeitsblatt S. 1-2 zum Versuch 11: „Vorgänge in einer brennenden Kerze“**

**4. Auswertung:**

4.3 Ordne der Abbildung einer brennenden Kerze die richtigen Begriffe zu.

- festes Kerzenwachs - flüssiges Kerzenwachs - Kohlenstoffdioxid -
- gasförmiges Kerzenwachs - Wasser -



4.4 Beschreibe die Prozesse (Pfeile in der Abbildung), die ablaufen, wenn eine Kerze brennt.

---

---

---

---

---

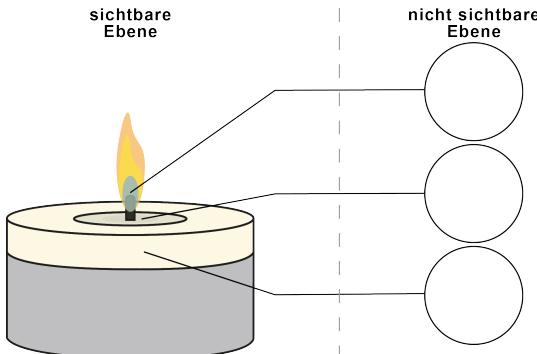
---

---

---

---

4.5 a) Zeichne die Teilchenvorstellung der Aggregatzustandsänderung in die Abbildung.  
b) Beschreibe die Anordnung der Teilchen.



---

---

---

---

---

---

---

---

---

Abbildung 147: Arbeitsblatt S. 3-4 zum Versuch 11: „Vorgänge in einer brennenden Kerze“

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen des Arbeitsblattes wurden für die Schüler:innen viele unterschiedliche Zugangswege der qualitativen Differenzierung berücksichtigt und gestaltet. Diese sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

Aufgabenstellung	Unterstützungsmaßnahmen
<b>Vorbereitung</b>	Abbildung als Fotografie und Illustration
<b>Durchführung</b>	Anleitung in einfacher Sprache mit Fotografie und bildlicher Darstellung, digitale Anleitung, Videoanleitung
<b>Beobachtung</b>	strukturiertes Wortfeld, Wortgeländer, Zuordnungskarten, Abbildungen vorher/nachher, Video
<b>Auswertung</b>	Wortfeld, Energiewürfel, Energiewürfelszenario, Zuordnung, Puzzle, Wortgeländer, Lückentext

Tabelle 65: Zusammenfassung Unterstützungsangebote zu Versuch 11: „Vorgänge in einer brennenden Kerze“

Die Unterstützungsmaßnahmen zur Vorbereitung, Durchführung, Beobachtung und Auswertung sind äquivalent zu den bereits beschrieben Unterstützungsmaßnahmen zu anderen Versuchen, sodass auf den Anhang verwiesen wird. Es soll an diesem Punkt auf die Auswertung des Arbeitsblattes eingegangen werden, da an dieser Stelle ein Anknüpfungspunkt für die weitere Konzeptarbeit bietet und einen Ausblick in den weiteren Unterrichtsverlauf.

### 6.7.1 Auswertung

Die Auswertung des Versuchs zu den Vorgängen in einer brennenden Kerze fordert den Erkenntnisstand und die erworbenen Vorkenntnisse der Schüler:innen heraus. Zunächst formulieren die Schüler:innen die Wortgleichung mithilfe der Beobachtungen zu den durchgeföhrten Nachweisen der Reaktionsprodukte und den richtigen Schlussfolgerungen. Als Unterstützung können sie auf dem verbalen Abstraktionsgrad ein Wortfeld mit den wichtigsten Begriffen wählen sowie ein Set mit Puzzle-Teilen. Als zweite Aufgabe ist die Erstellung des Enthalpie-Diagramms vorgesehen. Dazu sind ihnen als lernstrukturierende Hilfen ein Wortfeld gegeben sowie das Modell mit den Energiewürfeln, welches die Unterstützungsangebote AR-Sequenz mit den notwendigen Würfelseiten sowie die Energiewürfelszenarien einschließt. Um die Prozesse in einer brennenden Kerze grafisch zu symbolisieren, ist

eine Kerze abgebildet, zu der Fachbegriffe zugeordnet werden sollen (Abbildung 148).

#### 4. Auswertung:

##### 4.3 Ordne der Abbildung einer brennenden Kerze die richtigen Begriffe zu.

- festes Kerzenwachs - flüssiges Kerzenwachs - Kohlenstoffdioxid -  
- gasförmiges Kerzenwachs - Wasser -

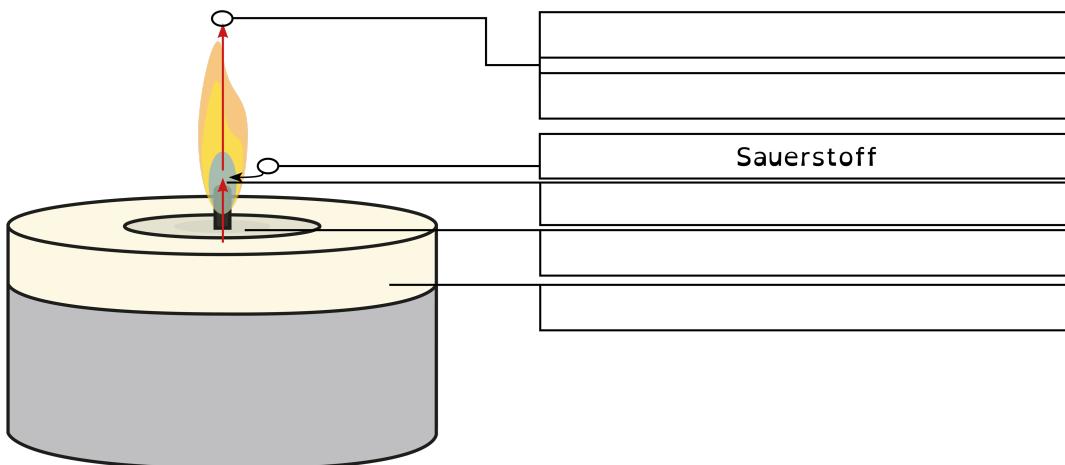


Abbildung 148: Auswertungsaufgabe zu den Vorgängen einer brennenden Kerze

Vorgegeben ist Sauerstoff als Gas, welches allgegenwärtig und den Schüler:innen als Ausgangsstoff nicht immer bewusst ist. Die Begriffe zum Einordnen an die richtigen Stellen sind in einer Wortliste auf dem Arbeitsblatt vorgegeben. Unterstützend können die zuzuordnenden Begriffe auf Kärtchen an die Positionen gelegt und die Lösung ausgewertet werden. Außerdem können die Schüler:innen sich als mittleren Impuls eine Teillösung ansehen, um auf die übrigen Begriffe zu schließen.

Anschließend sind die Schüler:innen dazu aufgefordert, die Prozesse, die als Pfeile in der Abbildung symbolisiert sind, zu beschreiben. Für diese Aufgabe können die Schüler:innen als leichten Impuls ein Wortfeld für die Lösung heranziehen, als mittleren Impuls ein Wortgeländer und als starken Impuls ein Lückentext.

Als letzte Aufgabe ist für die Schüler:innen eine Wiederholung zum undifferenzierten Teilchenmodell angedacht. Dazu sollen sie die Anordnung der Teilchen an unterschiedlichen Stellen der Kerze einzeichnen und abschließend die Anordnung der Teilchen beschreiben. Unterstützend können die Schüler:innen auf Kärtchen zurückgreifen, die die Teilchen abbilden und der richtigen Stelle zuzuordnen sind (leichter Impuls) oder eine Teillösung nutzen (mittlerer Impuls).

Für die Umsetzung sind zum einen die Vorkenntnisse aus den vorangegangenen Unterrichtsstunden notwendig. Außerdem erfolgt eine erste Verknüpfung der submikroskopischen Ebene mit den bisher erworbenen Erkenntnissen zu den Merkmalen der Stoff- und Energieumwandlung chemischer Reaktionen. Um die

Umgруппierung oder Umordnung der Teilchen als letztes Merkmal der chemischen Reaktion mit den Schüler:innen zu untersuchen, ist ein anderes Teilchenmodell (z. B. Kugelwolkenmodell) notwendig, da mit dem undifferenzierten Teilchenmodell keine Bindungen erklärt werden können. Weitere Unterrichtsinhalte, die an den Versuch anknüpfen können, sind Brände sowie Redoxreaktionen.

## Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war eine Bildung für alle Schüler:innen im Fach Chemie durch ein adäquates Unterstützungssystem zu ermöglichen. Um einen Überblick über die Heterogenität der Schülerschaft zu erhalten, wurden in Kapitel 1 die veröffentlichten Zahlen der KMK zu den Häufigkeiten der Förderschwerpunkte mit den Angaben der Situation im Chemieunterricht verglichen. Anschließend erfolgte die Betrachtung einzelner Förderschwerpunkte hinsichtlich ihrer Definition und den möglichen Ansätzen einen Unterricht so zu gestalten, dass die betroffenen Schüler:innen eine optimale Persönlichkeitsentwicklung und einen erfolgreichen Bildungsweg mit dem entsprechenden Wissenserwerb erfahren, um in der Gesellschaft gleichgestellt zu sein. Das Ziel der Inklusion ist, Unterschiede als Normalität zu betrachten und in diesem Sinne ein gemeinsames Leben zu ermöglichen und voneinander zu lernen. Daraus ergeben sich unterschiedliche Interventionsmöglichkeiten und viele parallele Methoden, sodass Schüler:innen mit einem sonderpädagogischen Förderbedarf auf unterschiedlichen Zugangsebenen unterstützt werden können.

Darauf aufbauend erfolgte im zweiten Kapitel die Betrachtung der unterschiedlichen Ansätze für ein inklusives Bildungssystem, insbesondere Feusers Ansatz der dreidimensionalen didaktischen Struktur, dessen Ausgangspunkt die Verschiebung von der Objektseite zur Subjektseite ist. Anknüpfend an diesen Punkt erfolgt die Darstellung des forschend-entwickelnden Unterrichts in Verbindung mit dem Konzept „Chemie fürs Leben“, um einen gemeinsamen Chemieunterricht mit einem lebenspraktischen Bezug zu gestalten, der dem curricularen Wissensaufbau folgt. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der in diesem Zusammenhang zum Tragen kommt, ist, dass mit diesem Konzept keine Niveauabsenkung erfolgt, sondern ein Unterstützungssystem in den Unterricht, nach einem Scaffolding-Prinzip, etabliert wird.

Ebenfalls in dem zweiten Kapitel ist die im Rahmen der Arbeit entwickelte dreidimensionale Planungshilfe beschrieben, die es ermöglicht, dass für die Schüler:innen unterschiedliche Zugangsebenen mitgedacht werden und die Planung und Entwicklung von Unterstützungsmaterial systematisiert wird.

Das dritte Kapitel beschreibt einen möglichen Unterrichtsgang von den Aggregatzuständen über energetische Betrachtungen und die Aggregatzustandsänderung bis hin zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells mit seinen Merkmalen. Die Einführung des Modells ist notwendig, da phänomenologische Beobachtungen auf der makroskopischen Ebene nicht mehr erklärt werden können. Die besondere Herausforderung zu diesem Zeitpunkt liegt darin, dass die Deutung auf der submikroskopischen Ebene mittels Symbolen erfolgt

und Schüler:innen mannigfaltige Vorstellungen haben, die nicht der wissenschaftlichen Wahrheit entsprechen. Ziel bei der Vorgehensweise ist es nicht, die Teilchenvorstellung und das undifferenzierte Teilchenmodell den Schüler:innen aufzuoktroyieren, sondern dass sie von sich aus, Versuche mit dem undifferenzierten Teilchenmodell interpretieren und sich dabei das Teilchenmodell bewähren soll.

Nach der Beschreibung des möglichen Unterrichtsganges wurden die Versuche zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells im vierten Kapitel aufgegriffen, um, ausgehend von der dreidimensionalen Planungshilfe, Optionen zur Unterstützung der Schüler:innen von der Vorbereitung bis zur Auswertung eines Versuchs auf verschiedenen Abstraktionsgraden in unterschiedlicher Impulsstärke vorzustellen. Neben der analogen Form des entwickelten Materials wird oft auch eine digitale Unterstützung angeboten, die das Repertoire um einen wichtigen Faktor erweitert.

Das fünfte Kapitel widmet sich der chemischen Reaktion als zentralem Thema, welches wesentliche Grundlage für weitere Inhalte des Chemieunterrichts ist. Dazu wurden zunächst die Schüler:innenvorstellungen in den Blick genommen und anschließend ein Konzept vorgestellt, das zu Beginn die Stoffumwandlung von der Aggregatzustandsänderung abgrenzt und anschließend das Merkmal der Energieumwandlung aufgreift. In diesem Zusammenhang werden Enthalpie-Diagramme qualitativ von den Schüler:innen erstellt und an weiteren alltagsrelevanten Reaktionen die Erkenntnisse zur chemischen Reaktion gefestigt.

Zu diesem zentralen Thema wurden im sechsten Kapitel weitere Unterstützungsangebote nach der dreidimensionalen Planungshilfe auf unterschiedlichen Zugangswegen entwickelt und beschrieben.

Aus dieser Arbeit sind mehrere Artikel und Beiträge in Sammelbänden entstanden sowie Vorträge auf Tagungen der GDCh, des VCÖs, des Bildungswerk der Wirtschaft MV „Create MV“, der Bremerhavener MNU-Tagung sowie Tagungen des Verbundprojekt „Lehren in M-V“ innerhalb der bundesweiten Qualitätsoffensive Lehrerbildung. In konzipierten Lehrerfortbildungen in analoger und digitaler Form werden die Ergebnisse der Arbeit disseminiert. Aufgrund der Pandemie war eine Evaluation der Unterrichtsmaterialien nur schwer möglich und die erhobenen Zahlen waren nicht repräsentativ. Dieser Teil soll zeitnah erfolgen, indem Lehrer:innen und Schüler:innen Aussagen zu dem Konzept und dem Unterstützungsma terial tätigen, um eine Weiterentwicklung voranzutreiben und mögliche Felder zu eröffnen, die noch zu wenig Beachtung erhielten. Daraus soll sich in einem weiteren Ausmaß ergeben, welche Formate zu einer optimalen Förderung der Schüler:innen beitragen. Gleichzeitig wird die Differenzierung des Konzeptes „Chemie fürs Leben“ weiterverfolgt und entsprechendes Unterstützungsma terial zur Erkenntnisgewinnung

entwickelt. Alle Schüler:innen sollten die Möglichkeit bekommen, ihrer Neugier an chemischen Themen nachgehen zu können.

Mithilfe der dreidimensionalen Planungshilfe gelingt es momentan lernstrukturierende Hilfen zu entwickeln und zu systematisieren, es stellt einen Schritt zur Gestaltung eines inklusiv gestalteten Chemieunterrichts dar. Dennoch erfordert dieser Prozess weitere Entwicklungs- und Konzeptarbeit, um bestehenden Desiderate zu schließen.

Schüler:innen wird in der „Institution Schule“ das Fenster zur Chemie geöffnet, dies ist aber erst „*.../ interessant, wenn man auch genügend Zeit bekommt, durch diese/s Fenster hinauszuschauen.*“ [124, S. 22]. Die Entwicklung von Chemieunterricht muss ebenfalls dahingehend angepasst werden, dass die Schüler:innen während ihrer Schulzeit genügend Zeit bekommen, um explorativ und forschend zu wirken.

## Anhang A: Exkurse

### A1: Exkurs zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells

#### Versuch 1: Kartesischer Taucher/Flaschenteufel

*Schülerexperiment*

**Geräte:** dünnwandige 1-L-Flasche aus Kunststoff, kartesischer Taucher/Flaschenteufel/ Pipette mit Muttern, Schere

**Chemikalien:** Luft, Wasser

**Durchführung:** In eine 1-Liter Flasche werden durch die Flaschenöffnung vorsichtig ein oder mehrere kartesische Taucher hineingegeben. Danach wird in die Flasche bis zur Öffnung Wasser gefüllt und diese mit dem Deckel verschlossen. Anschließend kann Druck auf die Flasche ausgeübt und der kartesische Taucher beobachtet werden.



Abbildung 149: Bildabfolge Durchführung kartesischer Taucher

**Beobachtung:** Der kartesische Taucher schwimmt zu Beginn des Versuchs im Flaschenhals. Sobald von außen Druck auf die Flasche ausgeübt wird, wie in Abbildung 149 zu sehen ist, sinkt dieser langsam nach unten. Die Druckausübung kann kurz oder lang gestaltet werden. Bei den gekauften Varianten (Teufel oder Qualle) lässt sich beobachten, dass diese drehenden Bewegungen vollführen, wenn in kurzer Frequenz Druck auf die Flasche ausgeübt wird.

**Fachliche Deutung:** Innerhalb des kartesischen Tauchers befindet sich ein Hohlraum, in dem sich zum einen Wasser und zum anderen Luft befindet. In der Abbildung 150 ist schematisch zum einen die Flasche als ein Rechteck und zum

anderen der kartesische Taucher als Rechteck mit zwei Öffnungen gegenüber der Abrundung dargestellt. In dem oberen Teil der Abstraktion des kartesischen Tauchers ist die Luft weiß und das Wasser blau symbolisiert (siehe Schritt 1).

**Schritt 1:** Entsprechend der Abbildung befindet sich der Taucher in der Ausgangssituation im oberen Bereich der Flasche. Die Gesamtdichte des Tauchers ist kleiner als die des Wassers.

**Schritt 2:** Durch Zusammenpressen der Flasche mittels einer Hand wird Druck auf das innere Medium (Wasser) ausgeübt. Ikonisch ist dieser Zustand so abgebildet, dass das Rechteck an der linken und rechten Seite eingedrückt ist. Der Druck wird durch die braunen Pfeile symbolisiert. Der von außen, ausgeübte Druck überträgt sich über das Wasser auf die Luftblase im Inneren des Tauchers und komprimiert die Luft, sodass Wasser in den kartesischen Taucher einströmt (rote Pfeile). Durch die Zunahme der Wassermenge (gelbe Linien) innerhalb des Hohlraumes des Tauchers erhöht sich dessen Gesamtdichte und ist nun höher als die des Wassers. Aufgrund dieser Gegebenheit kommt es innerhalb der Ursache-Wirkungs-Kette zur Sinkbewegung (grüner Pfeil) des kartesischen Tauchers.

**Schritt 3:** Wird von außen kein Druck mehr ausgeübt (braune Pfeile), dekomprimiert die Luft und das eingedrungene Wasser strömt nach außen (rote Pfeile). Die Gesamtdichte des kartesischen Tauchers nimmt aufgrund des ausströmenden Wassers ab (gelbe Linien) und eine Steigbewegung (grüner Pfeil) ist die Folge.

**Schritt 4:** Die Ausgangssituation liegt wieder vor.

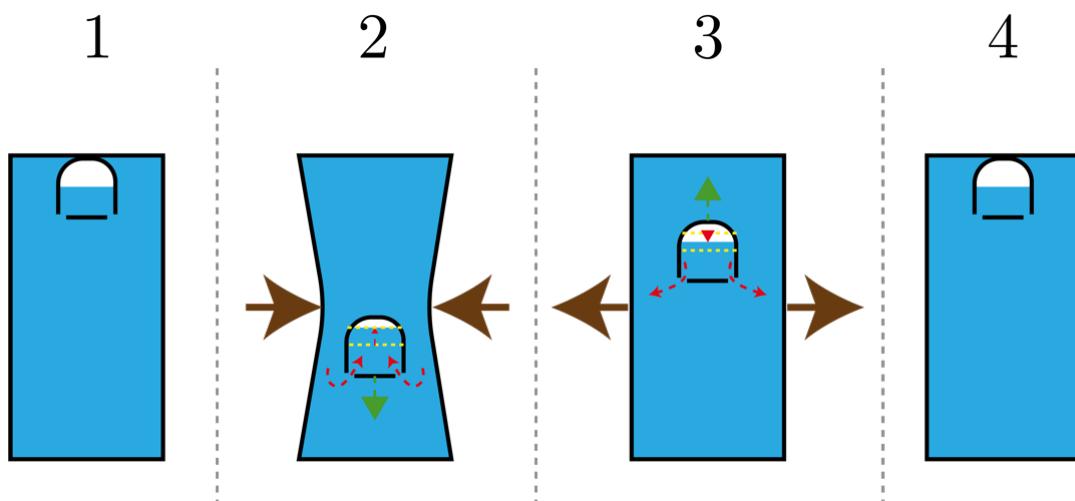


Abbildung 150: Ikonische Deutung kartesischer Taucher

Quelle: verändert nach [125]

Durch Kombination der Schritte 3 und 4 kann sich der kartesische Taucher in unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen. Bei den künstlerisch gestalteten Flaschentänzer in unterschiedlichen Formen lassen sich durch schnelle Wechsel des Druckes Pirouetten beobachten.

## A2: Exkurse zur Einführung der chemischen Reaktion

### Versuch 1: Nachweismethode von Kohlenstoffdioxid

*Schülerexperiment/Demonstrationsexperiment*

**Geräte:** Reagenzglasständer, 3 Reagenzgläser (18x180 mm), 3 50-mL-Spritzen, 3 Kanülen (0,8 x 120 mm), 3 Dreiwegehähne, 3 Schlauchadapter

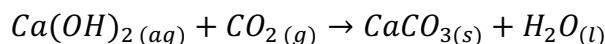
**Chemikalien:** Calciumhydroxid-Lösung (GHS05 !, GHS07 ↗), Kohlendioxid (GHS04 ↗), Feuerzeuggas (GHS02 🔥, GHS04 ↗)

#### Versuchsaufbau:

**Durchführung:** In die 50-mL-Spritzen werden jeweils 50 mL Luft, Kohlenstoffdioxid und Feuerzeuggas gefüllt. Die einzelnen Gase werden jeweils in die im Reagenzglas befindliche (ca. zu 1/3 gefüllt) Calciumhydroxid-Lösung eingeleitet.

**Beobachtung:** Nur in dem Reagenzglas, in das Kohlenstoffdioxid eingeleitet wird, bildet sich ein weißer Niederschlag. Bei den anderen Gasen bleibt die Lösung farblos.

**Fachliche Deutung:** Das eingeleitete Kohlenstoffdioxid reagiert mit der Calciumhydroxid-Lösung zu Calciumcarbonat und Wasser.



Dabei bildet sich neben Wasser das feste Calciumcarbonat, das als Feststoff ausfällt und die weiße Trübung der Lösung verursacht.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Die Calciumhydroxid-Lösung, in die das Kohlenstoffdioxid eingeleitet wird, trübt sich milchig-weiß, während durch die anderen eingeleiteten Gase keine Veränderung stattfindet.

**Didaktische Anmerkung:** Die Schüler:innen erkennen bei diesem Versuch, dass nur ein Gas mit dieser Methode nachgewiesen werden kann und der Nachweis spezifisch für Kohlenstoffdioxid ist. Die Reaktionsgleichung ist für die Lernenden noch unerheblich.

### Versuch 2: Nachweis von Wasser

*Demonstrations-/Schülerexperiment*

**Geräte:** 4 Uhrengläser, 4 Pipetten, Spatel, 4 Bechergläser,

**Chemikalien:** Wasser, Brennspiritus (GHS02 , GHS07 ) , Feuerzeugbenzin (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 ) , Petroleum (GHS07 , GHS08, GHS09), Holzöl (GHS02 , GHS07 ) , Wassernachweismittel (z.B. entwässertes Kupfersulfat (GHS07 , GHS09 ) , oder Watesmo-Papier)

**Durchführung:** In die vier Bechergläser werden jeweils die Stoffproben Wasser, Petroleum, Brennspiritus und Holzöl (z.B. IKEA SKYDD-Holzöl) gefüllt. In die vier Uhrengläser wird je eine Spatelspitze wasserfreies Kupfersulfat gegeben oder ein kleiner Streifen Watesmo-Papier (Achtung: Nicht mit den Händen berühren!). Anschließend wird mit der jeweiligen Pipette so viel des flüssigen Stoffes auf das wasserfreie Kupfersulfat getropft, bis dieses vollständig bedeckt ist. Bei Verwendung des Watesmo-Papiers muss nur ein Tropfen auf den entsprechenden Streifen gegeben werden. Dabei sollten zuerst die Stoffproben Wasser, Petroleum und Holzöl getestet werden. Im Anschluss wird der Versuch mit dem Brennspiritus durchgeführt.

**Beobachtung:** Bei den Stoffproben Wasser und Brennspiritus verändert sich die Farbe des wasserfreien Kupfersulfates von Weiß-Grau zu Blau und im Fall des Watesmo-Papiers von Weiß zu einem kräftigen Blau. Bei den Komponenten Feuerzeugbenzin, Petroleum und Holzöl ist keine Farbänderung beobachtbar (siehe Abbildung 151).

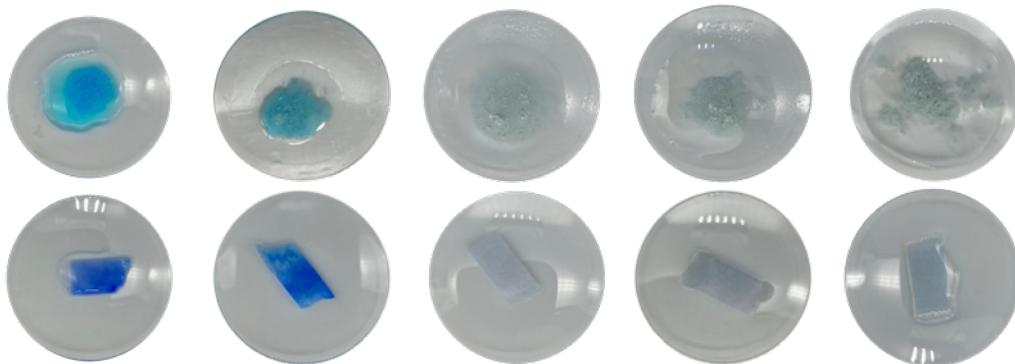
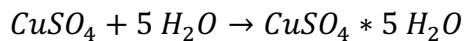


Abbildung 151: Wassernachweis bei Wasser, Brennspiritus, Feuerzeugbenzin, Petroleum und Holzöl (von li. nach re.)

**Fachliche Deutung:**

Bei der chemischen Reaktion von Wasser mit Kupfersulfat bildet sich das Kupfersulfat-Pentahydrat, das für die charakteristische Blaufärbung verantwortlich ist.



Diese Reaktion ist durch Erhitzen von Kupfersulfat-Pentahydrat umkehrbar.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Entwässerte Kupfersulfat weist bei Zugabe einer Substanz, die Wasser enthält, eine charakteristische Blaufärbung auf. Die auf das wasserfreie Kupfersulfat gegebenen Substanzen Feuerzeugbenzin, Petroleum und Holzöl zeigen keine charakteristische Färbung an. Hingegen färbt sich dieses nach Zugabe von Brennspiritus, da sich in dieser Substanz geringe Mengen an Wasser befinden.

Brennspiritus ist ein Azeotrop siedendes Ethanol-Wasser-Gemisch, das mit etwa 1 % Butanon vergällt wurde [105].

### Versuch 3: Wärmebildaufnahme von Rohrreiniger in Wasser

#### *Demonstrationsexperiment*

**Geräte:** Kristallisierschale ( $\varnothing$  9,2 cm), Spatellöffel, 20-mL-Becherglas, 60-mL-Spritze, Glasplatte ( $\varnothing$  5,9 cm), Thermometer, Neodym-Magnet (2 cm x 2 cm), Neodym-Magnet  $\varnothing$  0,5 cm, Höhe 0,9 cm), Stativ, Klemme, Muffe, Smartphone, Wärmebildkamera Flir One<sup>TM</sup>

**Chemikalien:** Leitungswasser, 2 Spatellöffel Rohrreiniger mit Aluminium

#### **Versuchsaufbau:**



Abbildung 152: gesamter Versuchsaufbau, präparierte Spritze, präparierte Spritze auf Glasplatte, Nahaufnahme Kristallisierschale

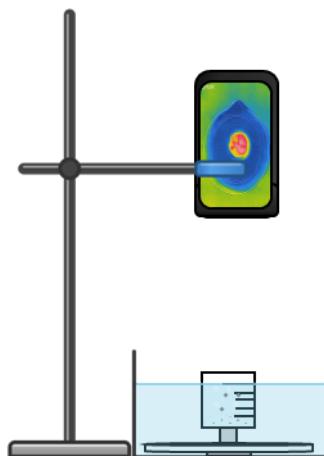


Abbildung 153: ikonische Abstraktion des Versuchsaufbaues

**Vorbereitung:** Die 60-mL-Spritze wird mithilfe einer Feinsäge an der 10-mL-Marke waagerecht gekürzt. Dazu ist es hilfreich, diese einzuspannen, um einen sicheren Halt zu gewährleisten. Anschließend wird der innere Kegel des männlichen Anschlusses entfernt. Dies kann z.B. durch Schmelzen mithilfe einer erhitzten Kanüle durchgeführt werden. Dazu wird die heiße Kanüle um den äußeren Rand des inneren Kegels geführt, bis sich dieser löst. Mittels einer Heißklebepistole wird an die Stelle des inneren Kegels heißer Kleber eingefüllt und anschließend der Neodym-Magnet ( $\varnothing$  0,5 cm, Höhe 0,9 cm) eingeklebt. Der 2 cm x 2 cm Neodym-Magnet bildet das Gegenstück und wird mittig unter die Glasplatte gelegt. Anschließend wird die präparierte Spritze oberhalb der Glasplatte aufgebracht.

**Praktische Hinweise:** Die Temperaturwerte wurden mit einem Thermometer separat aufgenommen, da die Temperaturanzeige der Wärmebildkamera Flir One<sup>TM</sup> nicht exakt sind. Vor Beginn der Durchführung wurde ein 50-mL-Becherglas mit 10 mL Wasser und zwei Spatellöffel Rohrreiniger in das Bild der Kamera gehalten. Durch die ablaufende Reaktion kann der Temperaturbereich durch Aktivieren der Sperrzone fixiert werden, um ideale Bildaufnahmen zu erhalten.

**Durchführung:** Die Spritze wird bis zur 5-mL-Marke mit auf 25 °C temperiertem Leitungswasser gefüllt. Anschließend wird bis zur gleichen Füllhöhe das temperierte Leitungswasser in die Kristallisierschale gegeben. Mittels Statis und der entsprechenden Halterung wird das Smartphone eingespannt und darauf geachtet, dass die angeschlossene Wärmebildkamera Flir One<sup>TM</sup> senkrecht über die Kristallisierschale für die Bild-/Videoaufnahme positioniert ist. Nachdem die thermografierten Fingerabdrücke verschwunden sind, kann die Bild- bzw. Videoaufnahme gestartet und mithilfe des 20-mL-Becherglasses der Rohrreiniger in den präparierten Spritzenkörper gegeben werden.

**Beobachtung:** Zunächst sind in die Umrisse der Kristallisierschale sowie die des Spritzenkörpers, die sich im Zentrum befindet, auf den Wärmebildaufnahmen zu erkennen (siehe Abbildung 154)

Betrachtet man die Temperaturbereiche (Bild a), so ist erkennbar, dass das Wasser und die Umgebungstemperatur ungefähr die gleiche Ausgangstemperatur von ca. 25 °C haben und blau wiedergegeben werden (siehe Bild a). Nach Zugabe des Rohrreinigers ist innerhalb der Spritze eine Temperaturerhöhung wahrzunehmen, erkennbar durch die gelbe Farbgebung (siehe Bild b). Im weiteren Verlauf ist innerhalb der Spritze eine deutliche Temperaturerhöhung durch die rote Farbgebung zu erkennen (siehe Bild c-d). Ab Bild e) nach ca. 15 Sekunden erwärmt sich, das in der Kristallisierschale befindende Wasser in der Nähe des Spritzenkörpers (siehe Bild e-f). Innerhalb der nächsten 45 Sekunden wird das Wasser in der Kristallisierschale weiter erwärmt. Aufgrund der thermografierten Aufnahmen ist erkennbar, dass sich der gelbe Wärmezustand (siehe Bild g-h) weiter ausbreitet. Nach einer Minute beträgt die Temperatur des Wassers ungefähr 31 °C.

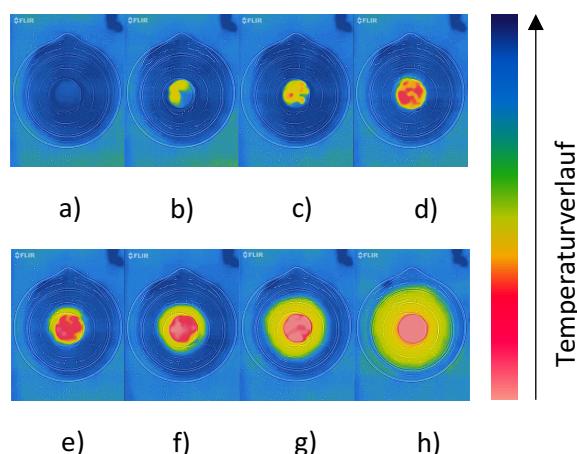


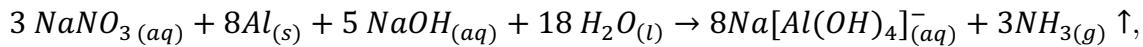
Abbildung 154: Wärmebildaufnahme Rohrreiniger

Die während der Reaktion höchste gemessene Temperatur innerhalb der Spritze betrug 68 °C. Während des Lösungsprozesses ist darüber hinaus eine Gasbildung sowie eine Trübung des farblosen Wassers innerhalb der Spritze beobachtbar. Die Aluminium-Stücke steigen zur Oberfläche und sinken anschließend wieder zum Boden des Spritzenkörpers.

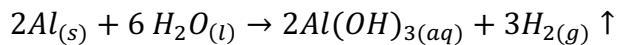
**Wesentlicher Lerninhalt:** Bei der Reaktion von Rohrreiniger mit Wasser handelt es sich um eine exotherme chemische Reaktion. Die sichtbare Wärmetönung wird durch die mit der Teilchenumgruppierung verbundenen Energieumwandlung hervorgerufen. Die Enthalpie der Ausgangsstoffe wird in die Enthalpie der Reaktionsprodukte und in Wärme umgewandelt, die an die Umgebung abgegeben wird.

**Fachliche Auswertung:**

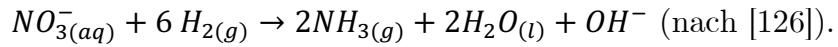
Bei der Zugabe von Rohrreiniger, mit seinen Bestandteilen Aluminium-Kugeln, Natriumhydroxid und Hilfsstoffen, wie Natriumnitrat, in Wasser findet zwischen den Komponenten eine exotherme Reaktion statt



bei der neben einer Gasbildung ein Temperaturanstieg zu beobachten ist. Die Bildung von Gasblasen kann durch den entstehenden Wasserstoff aus der Reaktion von Aluminium mit Wasser



erklärt werden. Teilweise wird der entstandene Wasserstoff zu Ammoniak durch den Hilfsstoff Natriumnitrat umgesetzt



Mithilfe der Wärmebildkamera kann die energetische Ebene beobachtet werden. Wärmeübertragung kann über zwei Arten erfolgen: zum einen durch Strahlung und zum anderen durch Wärmeleitung. Erstere erfolgt ohne stoffliche Träger und bietet keine Erklärung des beobachteten Prozesses. Daraus ist zu schließen, dass der Wärmetransportmechanismus durch Wärmeleitung erklärt werden kann, da dieser durch einen Temperaturgradienten zwischen zwei Stoffen hervorgerufen wird.

## Versuch 4: Verbrennen von Grillkohle II

*Demonstrationsexperiment (nach [73, S. 100])*

**Geräte:** Handgebläse, 2 durchbohrte Stopfen mit Glasableitungsrohr, Verbrennungsrohr (Quarzrohr), Glaswolle, Silikonschlauch, 3 200-mL-Erlenmeyerkolben, 3 passende Stopfen, Holzspan, Feuerzeug, Gasbrenner

**Chemikalien:** Grillkohle, Calciumhydroxid-Lösung (GHS05 !, GHS07 ⚠)

**Versuchsaufbau:**

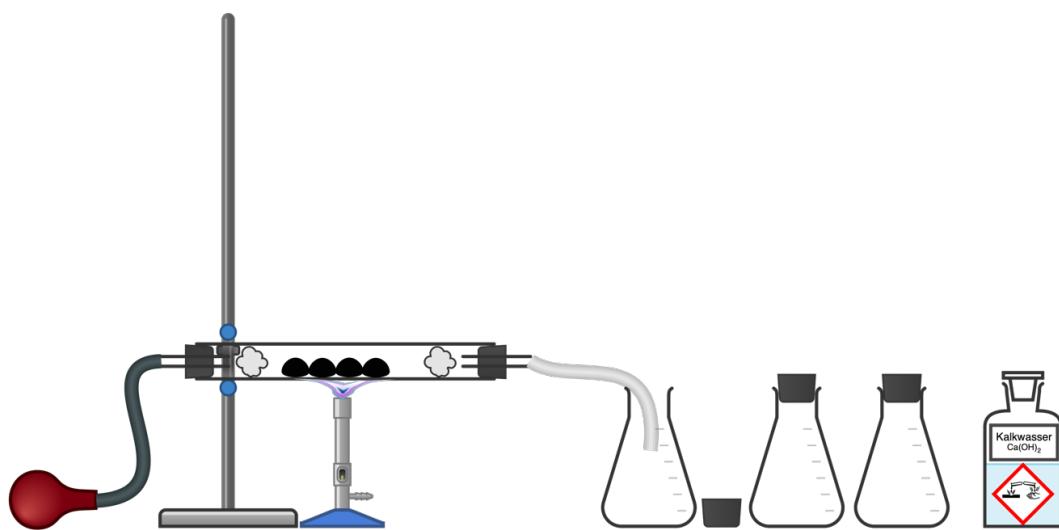


Abbildung 155: Durchführung Verbrennen von Grillkohle in einer Quarzrohr

**Durchführung:** Die Grillkohle wird vor der Durchführung des Versuchs in 0,5 bis 1 cm große Stücke zerbrochen. Anschließend muss die Grillkohle in einem Duran-Reagenzglas ausgeglüht werden. Durch diese Maßnahme wird das darin gebundene Wasser ausgetrieben. Das Verbrennungsrohr wird mittig mindestens 5 cm querschnittsfüllend mit der ausgeglühten Grillkohle bestückt. Zur Fixierung der Grillkohle dient an den jeweiligen Enden die Glaswolle. Das vorbereitete Verbrennungsrohr wird nun wie in Abbildung 155 zu sehen, an einem Ende fixiert und mit den durchbohrten Stopfen mit Ableitungsrohr verschlossen. An das eine Ende wird der Silikonschlauch mit dem Handgebläse angeschlossen, an das andere Ende der Silikonschlauch, der die eventuell entstehenden Gase in die Erlenmeyerkolben leitet.

Nach Abschluss des Aufbaus wird der Gasbrenner entzündet und eine rauschende Flamme eingestellt. Die Grillkohle wird auf dem der Handgebläse näheren Seite bis zur Rotglut erhitzt. Danach wird der Gasbrenner entfernt und mit dem Handgebläse langsam und stetig Luft in das Verbrennungsrohr gepumpt. Der erste

Erlenmeyerkolben wird mit dem eventuell entstehenden Gas gefüllt, nach einigen Minuten mit dem passenden Stopfen verschlossen und gegen den zweiten Erlenmeyerkolben ausgetauscht. Dieser wird ebenfalls mit dem potenziell entstehenden Gas gefüllt und mit einem Stopfen verschlossen.

Mithilfe eines brennenden Holzspans, der in den ersten Erlenmeyerkolben gehalten wird, wird das Gas im ersten Erlenmeyerkolben auf Brennbarkeit überprüft. Zum Vergleich kann diese Probe mit einem dritten, mit Luft gefüllten Erlenmeyerkolben wiederholt werden.

In den zweiten Erlenmeyerkolben werden wenige Milliliter Calciumhydroxid-Lösung gegeben, der Stopfen fest verschlossen und der Erlenmeyerkolben geschüttelt.

**Beobachtung:** Die Grillkohle glüht durch das Erhitzen mit dem Gasbrenner rot auf. Sobald der Gasbrenner entfernt wird, glüht die Grillkohle schwächer. Durch kontinuierliches Hineinpumpen von Luft in das Verbrennungsrohr intensiviert sich das Glühen der Grillkohle wieder. Dieser Prozess ist bei jedem Luftstoss zu beobachten. Gleichzeitig bildet sich an den aufglühenden Stellen eine weiß-graue Ascheschicht.

In den Erlenmeyerkolben konnte zunächst nichts beobachtet werden. Wird dann der brennende Holzspan in den ersten Erlenmeyerkolben mit dem aufgefangenen Gas gehalten, erlischt dieser. Wird hingegen ein brennender Holzspan in den mit Luft gefüllten Erlenmeyerkolben gehalten, so brennt dieser weiter. Die in den zweiten Erlenmeyerkolben gefüllte klare und farblose Calciumhydroxid-Lösung trübt sich nach dem Schütteln, weiß.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Die Grillkohle verbrennt in dem Verbrennungsrohr durch den von außen zugegebenem Luftstrom. Neben der Asche entsteht Kohlenstoffdioxid. Durch die Prüfung auf Brennbarkeit des Gases und der Durchführung der Nachweismethode mit der Calciumhydroxid-Lösung kann dies belegt werden.

## Versuch 5: Verbrennung von Erdgas im Standzylinder

*Demonstrationsexperiment*

**Geräte:** Standzylinder, Stativ, Feuerzeug, Gasbrenner, Holzspan

**Chemikalien:** Erdgas (GHS02! 🔥, GHS04-), Watesmo-Papier

**Durchführung:** In das Stativ wird ein Standzylinder mit der Öffnung nach unten eingespannt. Anschließend wird über den Gasbrenner kontrolliert Erdgas in den Standzylinder eingeleitet und anschließend mit einem brennenden Holzspan entzündet. Der sich bildende Flüssigkeitsfilm an der Innenwand des Standzylinders wird mit dem Watesmo-Papier auf Anwesenheit von Wasser überprüft.

**Beobachtung:** Wenn der Standzylinder mit Erdgas gefüllt wird, ist nichts zu beobachten. Nachdem das Erdgas mit dem brennenden Holzspan entzündet wird, zieht sich die Flamme in den Standzylinder hinein. Dabei beschlägt die Innenwand des Standzylinders und es bildet sich ein farbloser Flüssigkeitsfilm. Wird dieser auf Anwesenheit von Wasser mit dem Watesmo-Papier geprüft, fällt der Nachweis positiv aus, da sich das Watesmo-Papier intensiv blau färbt.

**Wesentlicher Lerninhalt:** Bei der Verbrennung von Erdgas entsteht neben Kohlenstoffdioxid Wasser. Die Reaktionsgleichung lässt sich wie folgt formulieren:

**Erdgas und Sauerstoff reagieren unter Wärmeabgabe zu  
Kohlenstoffdioxid und Wasser.**

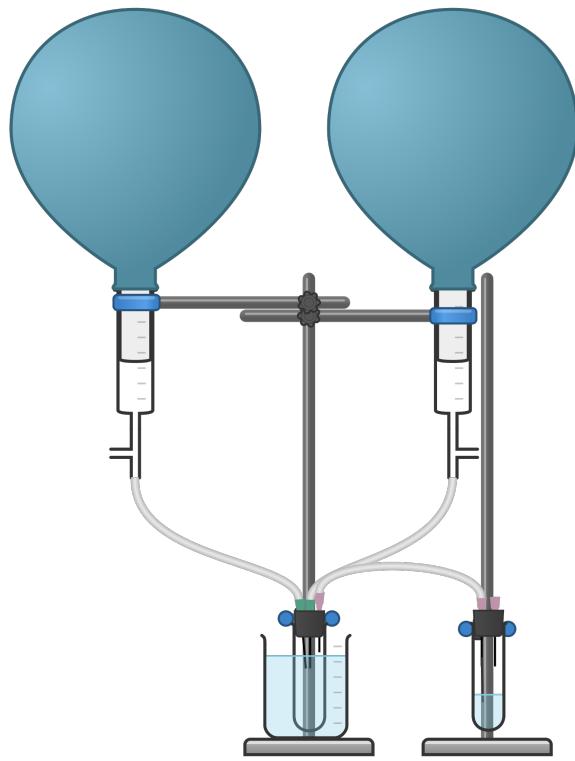
**Erdgas + Sauerstoff → Kohlenstoffdioxid + Wasser;  
Wärmeabgabe**

## Versuch 6: Verbrennung von Erdgas mit gleichzeitigem Nachweis der Reaktionsprodukte

*Demonstrationsexperiment*

**Geräte:** Holzspan, Mikroflammbrenner, 1 100-mL-Becherglas, 1 250-mL-Becherglas, 1 Reagenzglas (20 x 150), 1 Reagenzglas mit seitlichem Abgang, 1 passende Stopfen, 1 passender Stopfen mit Loch, 1 Glasrohr, 1 Kanüle (18G 1½ 1,2 x 40), 2 Kanülen (20G 2³/₄, 1 Seitenschneider, Säge, Feile, 3 Dreiwegehähne, 2 Heidelberger-Verlängerungen (30 cm), 2 Luer-Lock-Schlauchadapter männlich, 1 Luer-Lock-Schlauchadapter weiblich, 2 30-mL-Spritze, 2 Luftballon, 1 Silikonschlauch, 1 Druckminderungsventil, 2 Stative, 4 Klemmen, 4 Muffen,

**Chemikalien:** Wasser, Calciumhydroxid-Lösung (GHS05! 🔧, GHS07-), Erdgas (GHS02! 🔥, GHS04-), Sauerstoff (GHS03! 🔧, GHS04-), (wasserfreies Kupfersulfat (GHS07! 🔧, GHS09-)) oder Watesmo-Papier

**Versuchsaufbau:**

**Abbildung 156: Durchführung Verbrennen von Erdgas (Methan) in Sauerstoffatmosphäre mit gleichzeitigem Nachweis von Kohlenstoffdioxid und Wasser**

**Vorbereitung:***Bau der Sauerstoffzufuhr:*

Die 30-mL-Spritzen werden an der 20-mL-Marke aufgetrennt und mit einer Feile die groben Kanten geglättet. An diese Enden werden die Luftballons angebracht. Am anderen Spritzenende wird jeweils ein Drei-Wege-Hahn, wie in der Darstellung abgebildet, angeschlossen und seitlich mit einem männlichen Luer-Lock-Schlauchadapter verbunden. An das untere Ende wird die Heidelberger-Verlängerung anmontiert.

*Vorbereitung des Verbrennungsgefäßes:*

Das Verbrennungsgefäß wird zusammengebaut. Dazu werden in den für das Gefäß passenden Stopfen drei Kanülen eingeführt. Die jeweiligen Kanülen-Enden werden anschließend mithilfe eines Seitenschneiders abgekniffen, ohne die Ausgänge dabei zu verschließen. Die kurze Kanüle dient als Ausgang für die austretenden Gase.

*Vorbereitung des Reagenzglases zum Nachweis:*

Dieses Reagenzglas wird mit einem passenden Stopfen versehen, durch das zwei Kanülen gestochen wurden. An eine Kanüle wird eine Heidelberger-Verlängerung

angebracht. Die zweie Kanüle darf nicht in das Kalkwasser ragen, da sonst ein Überdruck entsteht.

**Durchführung:** Das Reagenzglas, in der die Verbrennung stattfindet, wird mit dem präparierten Stopfen verschlossen und in das Stativ eingespannt. Anschließend wird es in das mit Wasser gefüllte Becherglas abgesenkt. Das zweite Reagenzglas wird zu einem Viertel mit der Calciumhydroxid-Lösung befüllt und mit dem zweiten präparierten, passenden Stopfen verschlossen. Danach wird der Sauerstoff in den Luftballon eingeleitet. Dazu wird ein passender Silikonschlauch an den Schlauchadapter, der sich an dem Drei-Wege-Hahn der Spritzenapparatur befindet, angebracht und mit der Sauerstoffgasflasche verbunden. Der Drei-Wege-Hahn an der Spritze wird so eingestellt, dass lediglich eine Verbindung zwischen der Gasflasche und dem Luftballon besteht. Anschließend wird der Luftballon mit Sauerstoff gefüllt. Der Drei-Wege-Hahn wird nach der Befüllung quer gestellt, sodass alle Zugänge verschlossen sind. Die Spritze mit dem Sauerstoffluftballon wird mit einer Heidelberger-Verlängerung nun mit einer langen Kanüle des Verbrennungsgefäßes verbunden. An die zweite lange Kanüle wird die zweite Heidelberger-Verlängerung angeschlossen. An das andere Ende des Schlauchstückes wird ein Schlauchadapter arretiert. Dieser wird mit der Heidelberger-Verlängerung verbunden. An das andere Ende des Silikonschlauches wird die Methanflasche oder ein Erdgasanschluss (Brennerschlauch mit einer Glasolive) angeschlossen. Der Stopfen des Verbrennungsgefäßes wird zunächst abgenommen und die Sauerstoffzufuhr mit dem Drei-Wege-Hahn eingestellt. Mithilfe des Becherglases, das mit Wasser gefüllt ist, kann die Stärke des Sauerstoffausstrom überprüft werden. Die Kanüle muss danach getrocknet werden. Nach der Einstellung des Sauerstoffausstroms wird das Verbrennungsgefäß wieder mit dem Stopfen verschlossen und mit Sauerstoff gespült. Mittels der Glimmspanprobe wird der Sauerstoffaustritt an der kurzen Kanüle überprüft. (Achtung! Den Holzspan nicht zu nah an die Kanüle halten, diese kann sich entzünden.) Nun wird der Mikroflammbrenner entzündet und der Stopfen des Verbrennungsgefäßes abgenommen. Die Methangaszufuhr wird nun für einen kleinen Gasstrom leicht geöffnet und das an der Kanüle austretende Methan entflammt. Dabei sollte eine kleine Flamme entstehen. Der Stopfen wird nun auf das Verbrennungsgefäß gesetzt. Anschließend wird die Heidelberger-Verlängerung an das die kurze Kanüle des zweiten Reagenzglases angeschlossen. Die Verbrennung des Methans wird beendet, sobald sich mehr als ein halber Milliliter Flüssigkeit in dem Verbrennungsgefäß gesammelt hat. Anschließend wird der Wassernachweis durchgeführt.

*Praktischer Hinweis:*

Die Stärke des Gasausstroms für Methan sollte vorher erprobt werden, um ein Gefühl für die Stellung des Gashahns zu entwickeln.

**Beobachtung:** Bei der Befüllung des Verbrennungsgefäßes mit Sauerstoff kann keine bedeutende Beobachtung wahrgenommen werden. Bei der Überprüfung des Einstroms in Wasser können aufsteigende Blasen beobachtet werden. Wird überprüft, ob aus dem Reagenzglas Sauerstoff ausströmt, wird die Glimmspanprobe durchgeführt. Der glühende Holzspan entflammt, sobald dieser in die Gegenwart der Kanüle gebracht wird. Wird nun das Verbrennungsgefäß mit dem Reagenzglas verbunden, indem sich die Calciumhydroxid-Lösung befindet, steigen auch hier Blasen auf. Das Aufsteigen der Blasen endet, sobald der Stopfen des Verbrennungsgefäßes entfernt wird. Das Methan wird außerhalb des Verbrennungsgefäßes entzündet und verbrennt mit einer schwachen blauen Flamme. Die weitere Verbrennung findet in dem Reagenzglas statt. Hier ist ein starkes Glühen der Spitze der Kanüle zu beobachten. Gleichzeitig steigen in dem zweiten Reagenzglas Blasen auf und es fällt ein weißer Niederschlag aus. Die Calciumhydroxid-Lösung trübt sich, weiß. In dem Verbrennungsgefäß bildet sich ein farbloser Flüssigkeitsfilm. Dieser vermehrt sich kontinuierlich, sodass sich eine farblose Flüssigkeit am Boden des Reagenzglases bildet. Wird diese Flüssigkeit in Kontakt mit wasserfreiem Kupfersulfat oder Watesmo-Papier gebracht, färbt sich dieses tiefblau.

**Wesentliche Lerninhalte:** Die Glimmspanprobe fällt positiv aus, da durch den austretenden Sauerstoff die Verbrennung des Holzspans gefördert wird. Während der Verbrennung von Methan entstehen die Endstoffe Wasser, das mit Watesmo-Papier bzw. wasserfreiem Kupfersulfat nachgewiesen wird und Kohlenstoffdioxid, das durch die weiße Trübung der Calciumhydroxid-Lösung, nachgewiesen wird.

Es kann folgende Stoffumwandlung formuliert werden:

**Erdgas und Sauerstoff reagieren unter Wärmeabgabe zu  
Kohlenstoffdioxid und Wasser.**

**Erdgas + Sauerstoff  $\longrightarrow$  Kohlenstoffdioxid + Wasser;**  
**Wärmeabgabe**

### Versuch 7: **Wärmebildaufnahmen einer Brausetablette in Wasser**

*Demonstrationsexperiment*

**Geräte:** Kristallisierschale, Tiegelzange, 60-mL-Spritze, Glasplatte, Neodym-Magnet (2 cm x 2 cm), Thermometer, Neodym-Magnet Ø 0,5 cm, Höhe 0,9 cm), Smartphone, Wärmebildkamera Flir One<sup>TM</sup>

**Chemikalien:** Leitungswasser,  $\frac{1}{4}$  Brausetablette (z.B. altapharma Magnesium)

**Versuchsaufbau:**



Abbildung 157: Gesamter Versuchsaufbau, präparierte Spritze, präparierte Spritze auf Glasplatte, Nahaufnahme Kristallisierschale

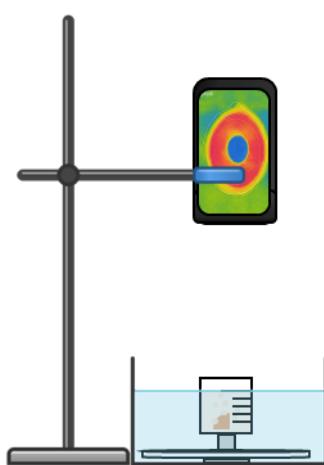


Abbildung 158: Ikonische Abstraktion des Versuchsaufbaus

**Vorbereitung:** siehe Exkurs „Wärmebildaufnahme von Rohrreiniger in Wasser“.

**Praktischer Hinweis:** Die Thermografie wird deutlicher, wenn das Wasser um 5-10 °C wärmer als die Außentemperatur ist. Dennoch sollte die Temperatur der Ausgangsstoffe ungefähr übereinstimmen. Die Temperaturwerte des Wassers und der Brause-Lösung wurden mit einem Thermometer separat aufgenommen, da die Temperaturanzeige der Wärmebildkamera Flir One™ nicht exakt ist. Darüber hinaus wurde vor Beginn ein Becherglas mit auf ca. 16 °C temperiertem Wasser in das Bild der Kamera gehalten und die Sperrzone aktiviert, um ideale Bildaufnahmen zu erhalten. Möglich ist dies durch die geringe Temperaturdifferenz von 8 °C.

**Durchführung:** Die Spritze wird bis zur 5-mL-Marke mit 25 °C temperierten Leitungswasser gefüllt. Anschließend wird bis zur gleichen Füllhöhe das temperierte Leitungswasser in die Kristallisierschale gegeben. Mittels Statis und der entsprechenden Halterung wird das Smartphone eingespannt und darauf geachtet, dass die angeschlossene Wärmebildkamera Flir One™ senkrecht über die Kristallisierschale für die Bild- oder Videoaufnahme positioniert ist. Nachdem die thermografierten Fingerabdrücke verschwunden sind, kann die Bild-/Videoaufnahme

gestartet und mithilfe der Tiegelzange die Brausetablette in den präparierten Spritzenkörper gegeben werden.

**Beobachtung:** Zunächst sind die Umrisse der Kristallisierschale sowie die des Spritzenkörpers, die sich im Zentrum befindet, auf den Wärmebildaufnahmen zu erkennen, siehe Abbildung 159. Betrachtet man die Temperaturbereiche (Bild a), so ist erkennbar, dass das auf ca. 25 °C temperierte Wasser den höchsten Wärmezustand hat und rot wiedergegeben wird. Die Spritzenwand weist eine Temperatur von ungefähr 24 °C auf und hebt sich farblich durch einen gelben Rand von dem Wasser ab. Ein ähnlicher Wärmezustand ist am Rand der Kristallisierschale zu erkennen, an die das Wasser grenzt. Die Umgebungstemperatur der Tischauflage beträgt ungefähr 23 °C und wird gelb-grünlich dargestellt. Sobald die Brausetablette in den Spritzenkörper gegeben wird (Bild b) und mit Wasser in Kontakt tritt, ist zunächst ein gelblicher Wärmezustand zu erkennen, der anschließend von einer grünlichen Farbgebung (Bild c) zu einem blauen Temperaturzustand übergeht (Bilder d – e). Dieser blaue Temperaturzustand ist gleichzeitig die während der Reaktion niedrigste gemessene Temperatur und betrug 17 °C. Nachdem sich die Brausetablette vollständig gelöst hat (Bild f), konnte von der entstandenen Lösung eine Temperatur von 18 °C ermittelt werden. Im weiteren Verlauf stieg diese kontinuierlich auf einen Endzustand von 22,4 °C an, während die Temperatur des Wassers in der Kristallisierschale auf 23,6 °C sank. Während des Lösungsprozesses ist darüber hinaus eine Gasbildung sowie eine orange Verfärbung des farblosen Wassers innerhalb der Spritze beobachtbar.

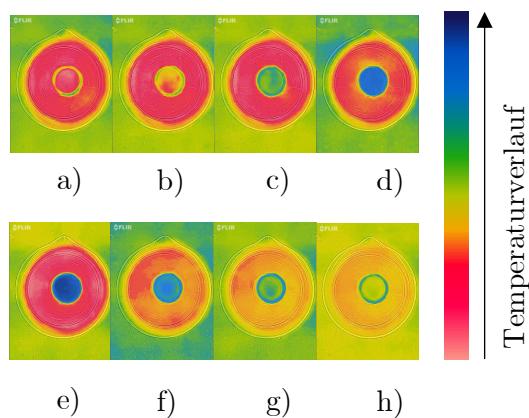


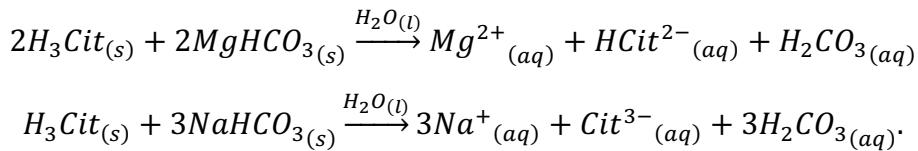
Abbildung 159: Wärmebildaufnahme Brausetablette

**Wesentlicher Lerninhalt:** Entscheidend für die Lernenden ist zu erkennen, dass sich nicht von der Reaktion her Kälte „ausbreitet“, sondern vom Wasser her Wärme in den Reaktionsraum transferiert wird. Die thermische Energie des Wassers wird

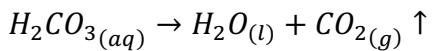
nicht nach außen abgeben. Die Temperatur senkt sich innerhalb der Spritze während der Reaktion. Von außen wird wieder Wärme zugeführt.

**Fachliche Auswertung:**

Bei Zugabe der Braustablette in Wasser bilden sich die entsprechenden Ionen und zwischen den Ausgangsstoffen Zitronensäure und Magnesiumhydrogencarbonat und im anderen Fall Natriumhydrogencarbonat läuft eine endotherme Reaktion ab



Die Gasbildung kann mit dem anschließenden Zerfall des Dihydrogencarbonats zu Wasser und Kohlenstoffdioxid



erklärt werden, welches in seinem gasförmigen Aggregatzustand aus dem Lösungsmittel Wasser entweicht.

### Versuch 8: Raketenantrieb mit Brausetabletten

#### *Schülerexperiment*

**Geräte:** Vorlage zum Ausschneiden der Rakete, Klebestift/Tesafilm/Klebeknete, Brausetabletten-Röhrchen mit Deckel, ein großes Becherglas (800 mL) oder ähnliches

**Chemikalien:** Leitungswasser, Brausetablette

**Durchführung:** Zu Beginn werden die benötigten Teile für den Bau der Rakete ausgeschnitten und mithilfe von Kleber an das Brausetabletten-Rohr befestigt. Zum Starten der Rakete wird zunächst ca. 1 cm hoch Wasser eingefüllt. Anschließend wird die Brausetablette hinzugegeben, das Röhrchen mit dem Deckel verschlossen und zügig in das große Becherglas gestellt.

**Beobachtung:** Nachdem das Brausetabletten-Rohr verschlossen und in das große Becherglas gestellt wurde, schießt diese nach einer kurzen Wartezeit schnell nach oben. Dabei springt der Deckel ab und die orange Brause-Lösung tritt aus.

**Wesentliche Lerninhalte:** Bei diesem Versuch wird sich die Freisetzung des Kohlenstoffdioxids während der Reaktion zunutze gemacht. Aufgrund des freiwerdenden Gases (Kohlenstoffdioxid) erhöht sich der Druck in dem Röhrchen so stark, dass der Deckel bei zu hohem Druck nachgibt und sich löst. Die „Rakete“ hebt ab. Dies hat den Anschein, dass es sich um eine exotherme Reaktion handelt, da Energie in Form von mechanischer Arbeit verrichtet wird. Es muss dabei beachtet werden, dass beide Prozesse in die Energiebilanz eingehen. Zum einen wird die stoffliche und zum anderen die energetische Umwandlung betrachtet. Abstrahiert man dazu ein Enthalpie-Diagramm, wird deutlich, dass nur ein geringer Teil der Energieabgabe in mechanischer Arbeit erfolgt. Die restliche thermische Energie wird in die Enthalpie der Brause und des Kohlendioxid umgewandelt.

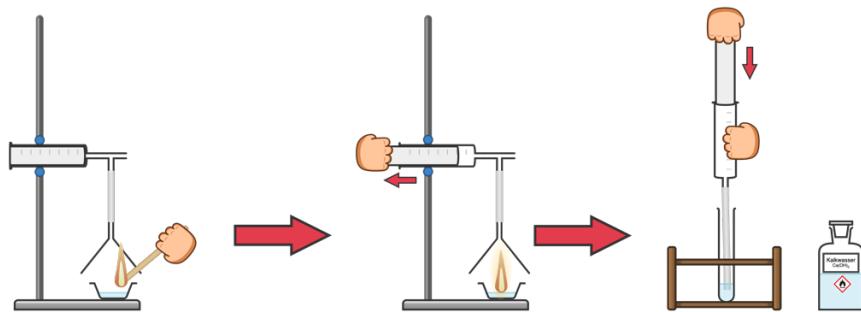
#### Versuch 9: Vergleich „Verbrennen“ und „Verdunsten“ von Brennspiritus

*Demonstrationsexperiment (nach [73, S. 89])*

**Geräte:** 2 Petrischale, Abdampfschale, 60-mL-Spritze/Kolbenprober, Trichter, Silikonschlauch, Holzspan, Feuerzeug, Glasplatte, Drei-Wege-Hahn, Luer-Lock-Schlauchadapter, Reagenzglasständer, 2 Reagenzgläser, Heidelberger-Verlängerung, Waage (Genauigkeit: mind. 0,01g), Kerze

**Chemikalien:** Brennspiritus (GHS02 , GHS07 ) , Calciumhydroxid-Lösung (GHS05 , GHS07 

#### Versuchsaufbauten:



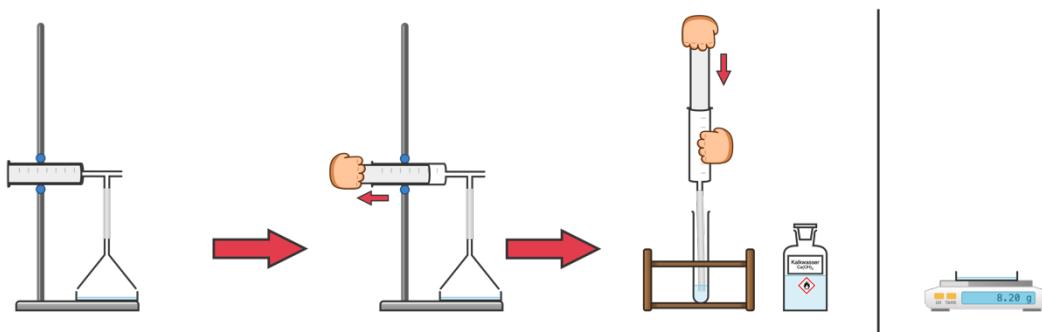


Abbildung 160: Durchführung Verbrennung und Verdunstung von Brennspiritus

### Durchführung:

#### *Verbrennen von Brennspiritus:*

Zuerst werden 10 mL Brennspiritus in die Abdampfschale gegeben und unter den Trichter gestellt. Letzterer ist über einen Silikonschlauch und einem Schlauchadapter über einen Drei-Wege-Hahn mit einer 60-mL-Spritze verbunden. Diese ist in ein Stativ eingespannt. Der Drei-Wege-Hahn ist so eingestellt, dass lediglich eine Verbindung zwischen der Spritze und dem Trichter besteht. Nun wird der Brennspiritus in der Abdampfschale mit einem brennenden Holzspan entzündet und der Spritzenstempel langsam nach hinten gezogen, um 60 mL der entstehenden Gase aufzufangen. Sobald diese Marke erreicht ist, wird der Drei-Wege-Hahn verschlossen und die Abdampfschale wird mit der Glasplatte bedeckt, um die weitere Verbrennung des Brennspiritus zu unterbinden. Der Trichter mit dem Silikonschlauch und dem Schlauchadapter wird von dem Drei-Wege-Hahn entfernt und die Kanüle an den Drei-Wege-Hahn arretiert. Die Stellung des Drei-Wege-Hahns wird so verändert, dass nur zwischen der 60-mL-Spritze und der Kanüle eine Verbindung besteht. Der Spritzeneinhalt wird nun in das vorbereitete Reagenzglas mit der Calciumhydroxid-Lösung eingeleitet.

#### *Verdunsten von Brennspiritus:*

Zuerst werden in zwei Petrischalen jeweils 10 mL Brennspiritus gegeben. Eine Petrischale wird auf eine Waage gestellt, während die andere unter den Trichter platziert wird. Der Drei-Wege-Hahn wird so eingestellt, dass zwischen der 60-mL-Spritze und dem Trichter eine Verbindung besteht und das eventuell entstehende Gas aufgefangen werden kann. Dazu wird der Spritzenstempel langsam bis zur 60-mL-Marke nach hinten gezogen und der Drei-Wege-Hahn verschlossen. Die Heidelberger-Verlängerung wird an den Drei-Wege-Hahn arretiert und der Spritzeneinhalt in das zweite Reagenzglas mit Calciumhydroxid-Lösung eingeleitet.

### Beobachtung:

#### *Verbrennen von Brennspiritus:*

Brennspiritus verbrennt mit einer leuchtenden orangefarbigen Flamme. An der Glaswand des Trichters kann ein farbloser Beschlag wahrgenommen werden, sobald der Brennspiritus entzündet wird. Dieser verschwindet nach kurzer Zeit wieder. Mit der Spritze werden farblose Gase aufgenommen und anschließend in die Calciumhydroxid-Lösung eingeleitet. Dabei kann beobachtet werden, dass sich die Lösung weiß trübt.

Der brennende Holzspan, der in das Reagenzglas mit dem eingeleiteten Gas gehalten wird, erlischt.

#### *Verdunsten von Brennspiritus:*

Die Anfangsmasse des Brennspiritus nimmt alle 20 Sekunden um 0,01 g ab. Werden die aufgefangenen Gase in die Calciumhydroxid-Lösung eingeleitet, kann keine Veränderung beobachtet werden.

#### **Wesentliche Lerninhalte:**

##### *Verbrennen von Brennspiritus:*

Bei der Verbrennung von Brennspiritus entstehen die Produkte Wasser, welches an der Glaswand des Trichters kondensierte und aufgrund der Thermik wieder verschwand, und Kohlenstoffdioxid, welches mit dem Trichter und der 60-mL-Spritze aufgefangen wurde. Wird Kohlenstoffdioxid in eine Calciumhydroxid-Lösung eingeleitet, trübt sich diese weiß. Calciumcarbonat fällt aus.

Die Flamme wird durch das Kohlenstoffdioxid erstickt.

**Brennspiritus und Sauerstoff reagieren unter Wärmeabgabe zu  
Kohlenstoffdioxid und Wasser.**

**Brennspiritus + Sauerstoff  $\longrightarrow$  Kohlenstoffdioxid + Wasser;  
Wärmeabgabe**

##### *Verdunsten von Brennspiritus:*

Während der Durchführung des Versuchs kann die Anfangsmasse des Brennspiritus in der Petrischale bestimmt werden. Dabei ist zu beobachten, dass die Masse kontinuierlich abnimmt. Werden die Werte aufgenommen und gegen die Zeit aufgetragen, ergibt sich ein Diagramm der Verdunstungsgeschwindigkeit:

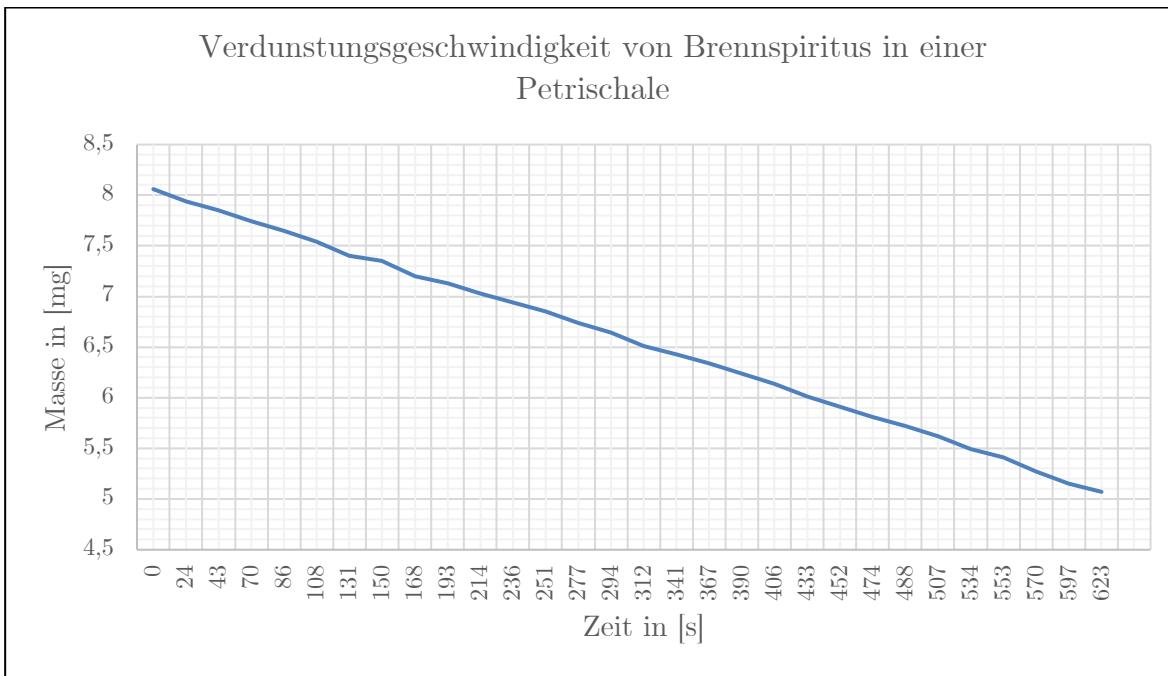


Abbildung 161: Verdunstungsgeschwindigkeit von Brennspiritus in einer Petrischale

Der lineare Verlauf des Grafen zeigt deutlich die kontinuierliche Gewichtsabnahme und somit, dass Brennspiritus verschwindet.

Brennspiritus geht in einem offenen System von dem flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand über. Wird nun gleichzeitig gasförmiger Brennspiritus aufgefangen und in eine Calciumhydroxid-Lösung eingeleitet, fällt die Probe auf Kohlenstoffdioxid negativ aus.

Versuch	Eigenschaften des vor dem Prozess	Eigenschaften der entstehenden Gase nach dem Prozess	Schlussfolgerung
<b>Verbrennen von Brennspiritus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ flüssig</li> <li>○ farblos</li> <li>○ süßlicher Geruch</li> <li>○ brennbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ gasförmig</li> <li>○ farblos</li> <li>○ trübt Kalkwasser</li> <li>○ erlischt Flamme</li> <li>○ geht während des Abkühlens nicht in den flüssigen</li> </ul>	<p>Die Ausgangsstoffe werden unter Wärmeabgabe in neue Stoffe (Reaktionsprodukte) mit anderen Eigenschaften umgewandelt.</p> <p>Der Prozess ist nicht rückgängig/ nicht umkehrbar (Irreversibel).</p>

		Aggregatzustand über	Bei dem Gas handelt es sich um Kohlenstoffdioxid.
<b>Verdunsten von Brennspiritus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ flüssig</li> <li>○ farblos</li> <li>○ süßlicher Geruch</li> <li>○ brennbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ gasförmig</li> <li>○ farblos</li> <li>○ trübt Kalkwasser nicht</li> <li>○ brennbar</li> <li>○ geht während des Abkühlens in den flüssigen Aggregatzustand über</li> </ul>	<p>Es handelt sich um eine Aggregatzustandsänderung.</p> <p>Der Prozess ist rückgängig/ umkehrbar (Reversibel).</p> <p>Bei dem Gas handelt es sich um gasförmigen Brennspiritus.</p>

**Tabelle 66: Vergleich Verbrennen und Verdunsten von Brennspiritus**

Bei beiden Prozessen nimmt die Masse des Brennspiritus ab. Vergleicht man sie hinsichtlich der Geschwindigkeit, wird jedoch deutlich, dass das Verdunsten deutlich länger dauert. Bei der Verdunstung handelt es sich um eine Aggregatzustandsänderung unterhalb des Siedepunktes im Gegensatz zur Verdampfung, die bei der Siedetemperatur des entsprechenden Stoffes stattfindet. Dies sollte den Schüler:innen nach der Behandlung der Aggregatzustandsänderung bekannt sein.

Eine weitere Möglichkeit zur Übung der Abgrenzung von chemischen und physikalischen Prozessen besteht darin, ihnen die Aufgabe zu erteilen, verschiedene Prozesse zu nennen und diese der Aggregatzustandsänderung oder der chemischen Reaktion zuzuordnen, z.B.:

- Kochen von Wasser,
- Schmelzen von Butter,
- Erhitzen von Salz,
- Erhitzen von Zucker,
- Salz in Wasser lösen und
- Kuchen backen.

## **Anhang B: Differenziertes Material zur Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells**

Der Anhang B befindet sich auf dem Datenträger.

**Anhang C: Differenziertes Material zur Einführung  
der chemischen Reaktion**

Der Anhang C befindet sich auf dem Datenträger.

## Literaturverzeichnis

- [1] UN-Behindertenrechtskonvention - Artikel 24 - Bildung (2006). chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.lebenshilfe-en-hagen.de/wp-content/uploads/2021/11/UN-Behindertenkonvention\_Artikel\_24.pdf.
- [2] Feuser, G. (1998). Gemeinsames Lernen am gemeinsamen Gegenstand, Didaktisches Fundamentum einer Allgemeinen (integrativen) Pädagogik. In: Integrationspädagogik. Auf dem Weg zu einer Schule für alle. Hildeschmidt, A. (Hrsg.). Juventa-Verl., Weinheim, München, 19–36.
- [3] Freienberg, J., Krüger, W., Lange, G., Flint, A. (2001). „Chemie fürs Leben“ auch schon in der Sekundarstufe I - geht das? CHEMKON 8/2, 67–75.
- [4] Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2021). STATISTISCHE VERÖFFENTLICHUNGEN DER KULTUSMINISTERKONFERENZ. Vorausberechnung der Zahl der Schüler/-innen und Absolvierenden 2020 bis 2035 2021/230, 1–223.
- [5] Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2022). STATISTISCHE VERÖFFENTLICHUNGEN DER KULTUSMINISTERKONFERENZ. Sonderpädagogische Förderung in Schulen 2011 bis 2020 235, 1–155.
- [6] Hasselhorn, M. (Hrsg.) (2014). Lernverlaufsdiagnostik. Hogrefe, Göttingen.
- [7] <https://www.rim.uni-rostock.de/der-response-to-intervention-ansatz/glossar/#c721657> (letzter Zugriff am 16.8.2023).
- [8] Hollenweger, J., Kraus de Camargo, O. A. (Hrsg.) (2017). ICF-CY. Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit bei Kindern und Jugendlichen, 2. Aufl. Hogrefe, Bern.
- [9] Leonhardt, A. (2010). Einführung in die Hörgeschädigtenpädagogik. Mit 88

Übungsaufgaben und zahlreichen Tabellen, 3. Aufl. Reinhardt; UTB, München, Stuttgart.

[10] Drave, W. (Hrsg.) (2000). Empfehlungen zur sonderpädagogischen Förderung.

Allgemeine Grundlagen und Förderschwerpunkte (KMK) ; mit Kommentaren. Ed. Bentheim, Würzburg.

[11] Vernooij, M. A. (2007). Einführung in die Heil- und Sonderpädagogik.

Theoretische und praktische Grundlagen der Arbeit mit beeinträchtigten Menschen, 8. Aufl. Quelle & Meyer, Wiebelsheim.

[12] KMK (1998). Empfehlungen zum Förderschwerpunkt Sehen, 1–29.

[13] Bleidick, U., Hagemeister, U. (1995). Allgemeine Theorie der Behindertenpädagogik, 5. Aufl. Kohlhammer, Stuttgart.

[14] Hedderich, I., Biewer, G., Hollenweger, J., Markowetz, R. (Hrsg.) (2016).

Handbuch Inklusion und Sonderpädagogik. Klinkhardt, Bad Heilbrunn.

[15] Leonhardt, A., Wember, F. B. (Hrsg.) (2003). Grundfragen der Sonderpädagogik. Bildung - Erziehung - Behinderung ; ein Handbuch. Beltz, Weinheim.

[16] Lelgemann, R., Singer, P., Walter-Klose, C., Lübbeke, J. (2013).

Qualitätsbedingungen schulischer Inklusion für Kinder und Jugendliche mit dem Förderschwerpunkt Körperliche und motorische Entwicklung. Zeitschrift für Inklusion 4.

[17] DIGITALE NAVIGATION VON INKLUSION. Digitale werkzeuge fr einen (2022). VS VERLAG FUR SOZIALWISSE, [S.l.].

[18] Sächsisches Staatsinstitut für Bildung und Schulentwicklung (2005). Material- und Methodensammlung zur Förderdiagnostik in Sachsen. Materialien, Methoden und Hilfsmittel zum Verfahren zur Feststellung Sonderpädagogischen Förderbedarfs. Sächsisches Staatsministerium für Kultus, Sächsisches Staatsministerium für Kultus.

[19] Havers, N. (1981). Erziehungsschwierigkeiten in der Schule. Klassifikation,

- Häufigkeit, Ursachen und pädagogisch-therapeutische Maßnahmen, 2. Aufl.  
Beltz, Weinheim [u.a].
- [20] Wagner, I. (2016). Aufmerksamkeitstraining mit impulsiven Kindern, 9. Aufl.  
Klotz, Eschborn bei Frankfurt am Main.
- [21] Wüllenweber, E. (Hrsg.) (2006). Pädagogik bei geistigen Behinderungen. Ein Handbuch für Studium und Praxis. Kohlhammer, Stuttgart.
- [22] Hasselhorn, M., Gold, A. (2009). Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren, 2. Aufl. Kohlhammer, Stuttgart.
- [23] Michaelis, R., Niemann, G., Berger, R., Wolff, M. (2017). Entwicklungsneurologie und Neuropädiatrie. Grundlagen, diagnostische Strategien, Entwicklungstherapien und Entwicklungsförderungen, 5. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- [24] Riegert, J., Musenberg, O. (Hrsg.) (2015). Inklusiver Fachunterricht in der Sekundarstufe, 1. Aufl. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart.
- [25] Wirth, G., Ptok, M., Schönweiler, R. (2000). Sprachstörungen, Sprechstörungen, kindliche Hörstörungen. Lehrbuch für Ärzte, Logopäden und Sprachheilpädagogen, 5. Aufl. Dt. Ärzte-Verl., Köln.
- [26] Braun, O. (Hrsg.) (2012). Sprache und Kommunikation. Kohlhammer, Stuttgart.
- [27] Braun, O. (2006). Sprachstörungen bei Kindern und Jugendlichen. Diagnostik - Therapie - Förderung, 3. Aufl. Kohlhammer, Stuttgart.
- [28] Groß, K. (2013). Experimente alternativ dokumentieren. Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung. Zugl.: Köln, Univ. Diss. 2013. Logos, Berlin.
- [29] Krämer, S. (2009). Scaffolding-Ein Baugerüst für die Fachsprache. Förderung des Sprachverständnisses von lernschwächeren Schülern. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie **20. Jahrgang**/111/ 112, 34–45.

- [30] Kamp-Becker, I., Bölte, S. (2011). Autismus, 1. Aufl. UTB; Reinhardt, Stuttgart, München.
- [31] Theunissen, G., Kulig, W., Leuchte, V., Paetz, H. (Hrsg.) (2015). Handlexikon Autismus-Spektrum. Schlüsselbegriffe aus Forschung, Theorie, Praxis und Betroffenen-Sicht, 1. Aufl. Kohlhammer, Stuttgart.
- [32] Krapp, A., Weidenmann, B. (Hrsg.) (2006). Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch, 5. Aufl. Beltz PVU, Weinheim.
- [33] Löser, R. (2013). Rund um den Förderschwerpunkt Lernen. Hintergrundinformationen - Fallbeispiele - Strategien für die Sekundarstufe ; [geeignet für die Klassen 5 - 10]/ Rainer Löser. Verl. an der Ruhr, Mülheim an der Ruhr.
- [34] Seymour Bruner, J, (1960). The Process of education. HARVARD UNIVERSITY PRESS.
- [35] Heimlich, U., Kahlert, J., Greving, H. (2014). Inklusion in Schule und Unterricht. W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart.
- [36] Heimlich, U., Kiel, E. (Hrsg.) (2020). Studienbuch Inklusion. Ein Wegweiser für die Lehrerbildung. Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- [37] Ziegler, A. (2017). Hochbegabung, 2. Aufl. Ernst Reinhardt Verlag; UTB, München.
- [38] Rost, D. H. (Hrsg.) (1993). Lebensumweltanalyse hochbegabter Kinder. Das Marburger Hochbegabtenprojekt. Hogrefe, Verl. für Psychologie, Göttingen, Bern, Toronto, Seattle.
- [39] Renzulli, J. S., Ein praktisches System zur Identifizierung hochbegabter und talentierter Schüler. Psychologie in Erziehung und Unterricht **1993**/40, 217–224.
- [40] Stumpf, E. (2012). Förderung bei Hochbegabung. Kohlhammer, Stuttgart.
- [41] Heller, K. A. (Hrsg.) (2001). Hochbegabung im Kindes- und Jugendalter,

2. Aufl. Hogrefe, Göttingen.
- [42] Heller, K. A. (Hrsg.) (2002). Begabtenförderung im Gymnasium. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- [43] Heller, K. A., Dresel, M. (2000). Begabungsdiagnostik in der Schul- und Erziehungsberatung, 2. Aufl. Huber, Bern.
- [44] Professionelle Begabtenförderung. Empfehlungen zur Qualifizierung von Fachkräften in der Begabtenförderung (2009). Österr. Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung, Salzburg.
- [45] Perleth, C. (2012). Umgang mit Vielfalt im Bildungswesen. Der Umgang mit besonderen Begabungen im Bildungswesen. Workshop der „ARGE Bildung und Ausbildung“ der.
- [46] Bergeest, H., Boenisch, J., Daut, V. (2015). Körperbehindertenpädagogik. Grundlagen - Förderung - Inklusion, 5. Aufl. Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- [47] Hildeschmidt, A. (Hrsg.) (1998). Integrationspädagogik. Auf dem Weg zu einer Schule für alle. Juventa-Verl., Weinheim, München.
- [48] Hansen, G. (2010). Unterstützende Didaktik. Ein Konzept zur planung und Durchführung von Unterricht an allgemeinen schulen und Förderschulen. Oldenbourg Verlag, Munich [Germany].
- [49] Was ist guter Unterricht? Studienbuch (2004), 1. Aufl. Cornelsen Verlag Scriptor, Berlin.
- [50] Helmke, A. (2017), Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts, 7. Aufl. Klett Kallmeyer, Seelze-Velber.
- [51] Paradies, L., Linser, H. J. (2016), Differenzieren im Unterricht, 8. Aufl. Cornelsen, Berlin.
- [52] Lazarides, R. (Hrsg.) (2012). Differenzierung im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Implikationen für Theorie und Praxis.

- Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- [53] Christen, H.R. (2014). Chemieunterricht. Eine praxisorientierte Didaktik, 1990. Aufl. Springer Basel, Basel.
- [54] Behrendt, A., Heyden, F., Häcker, T. (Hrsg.) (2019). "Das Mögliche, das im Wirklichen (noch) nicht sichtbar ist...". Planung von Unterricht für heterogene Lerngruppen - im Gespräch mit Georg Feuser, 1. Aufl. Shaker Verlag, Düren.
- [55] Leisen, J. (2019). Das Prinzip der „kalkulierten Herausforderung“. Kompetenzorientierter unterrichten. Schulmagazin 5-10.
- [56] Schmidkunz, H., Lindemann, H. (2003). Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht, 6. Aufl. Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben.
- [57] Feuser, G. (2023). Zur Grundlegung eines Verständnisses des Begriffes „Gemeinsamer Gegenstand“.
- [58] Stork, H. (1997). Zum Verhältnis von Theorie und Empirie in der Chemie. Der Chemieunterricht **10**/3, 45–61.
- [59] Tobinski (2017). Kognitive Psychologie. Springer Berlin Heidelberg.
- [60] Sasse, A., Schulzeck, U. (Hrsg.) (2021). Inklusiven Unterricht planen, gestalten und reflektieren. Die Differenzierungsmatrix in Theorie und Praxis. Klinkhardt, Julius, Bad Heilbrunn.
- [61] Kutzer, R. (1998). Mathematik entdecken und verstehen. Kommentarband 1. Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main.
- [62] Bernholt S., Parchmann, I., Commons, M. L. (2009). Kompetenzmodellierung zwischen Forschung und Unterrichtspraxis. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften **15**, 219–245.
- [63] Leisen, J. (2017). Handbuch Fortbildung Sprachförderung im Fach. Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis. Grundlagenteil, 1. Aufl. Ernst Klett Sprachen, Stuttgart.

- [64] Lambert, A. (2015). Algorithmen enaktiv - ikonisch - symbolisch. *Mathematik Lehren* 188, 16–19.
- [65] Vygotskij, L., Lompscher, J., Kossert, R. (1987). Ausgewählte Schriften. Pahl-Rugenstein, Köln.
- [66] Collin, C. (2008). Chemie fürs Leben. Am Beispiel von Einweggeschirr, Kohlendioxid und Fleckenwasser. Dissertation.
- [67] Stavy, R., Stachel, D. (1985). Children's ideas about 'solid' and 'liquid'. *European Journal of Science Education* 7/4, 407–421.
- [68] Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis*, 3. Aufl. Springer Spektrum, Berlin.
- [69] Keune, H., Frühauf, D. (1997). Experimentieren mit Gasen - Wie lassen sich allgemeine Vorstellungen über Gase am Beispiel von Kohlenstoffdioxid gewinnen und ausbauen? *NiU-Ch* 8/37, 42–46.
- [70] Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education* 10/5, 553–560.
- [71] Weerda, J. (1978). Begriffe der Chemie und Physik in der Sprache der Kinder und der Wissenschaften. Gegenüberstellung der Begriffsbildung ; eine empirische Untersuchung. Zugl.: Oldenburg, Univ., Fachbereich 03 - Gesellschaftswiss., Diss., 1977. Lang, Frankfurt am Main, Bern, LasVegas.
- [72] Stavy, R. (1990). Children's conception of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas. *J. Res. Sci. Teach.* 27/3, 247–266.
- [73] Collin, C., Flint, A. (2019). „Chemie fürs Leben“ am Beispiel von Einweggeschirr, Kohlendioxid und Fleckenwasser. -eine alltags- und schülerorientierte Unterrichtseinheit für den Chemieanfangsunterricht -. Rostock.
- [74] Magiotti, R. (1648). *Renitenza certissima dell'acqua alla compressione dichiarata con varij scherzi in occasion d'altri problemi curiosi*. Roma:

Franscesco Moneta.

- [75] Carrasquer, J., Ponz, A., Alvares, M. V., UrÍa, J. HISTORIA DE LOS NOMBRES DEL DIABLO CARTESIANO. A History of the Names for the Cartesian Devil, 75–96.
- [76] Blume, R. (2013). Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie. Tipp des Monats November 2002 (Tipp-Nr. 65). Nicht nur für den Kindergarten: Wie funktioniert eigentlich ein Flaschentaucher?  
[https://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/11\\_02.htm](https://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/11_02.htm) (letzter Zugriff am 4.6.2022).
- [77] Becker, R., Obendrauf, V. (2004). Chemie heute 4, 1. Aufl. Veritas-Verlag, Linz.
- [78] Mortimer, C. E., Müller, U., Beck, J. (2015). Chemie. Das Basiswissen der Chemie : 410 Abbildungen, 545 Formelbilder, 12. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- [79] Rahmenplan für die Primarstufe. Sachunterricht (2020). [https://www.bildung-mv.de/export/sites/bildungsserver/downloads/unterricht/rahmenplaene\\_allgemeinbildunge\\_schulen/sachunterricht/RP\\_GS\\_SU-Endfassung\\_1.pdf](https://www.bildung-mv.de/export/sites/bildungsserver/downloads/unterricht/rahmenplaene_allgemeinbildunge_schulen/sachunterricht/RP_GS_SU-Endfassung_1.pdf) (letzter Zugriff am 10.6.2022).
- [80] Rahmenplan Naturwissenschaften. für die Jahrgangsstufen 5 und 6 an der Integrierten Gesamtschule sowie an der Regionalen Schule.
- [81] Wagner, T. (2018). Energie im Chemieunterricht. -Eine neue experimentelle Unterrichtskonzeption für die Sekundarstufe I und II-. Rostock.
- [82] Ostwald, F. W. (1903). Chemische Energie. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig.
- [83] Brückmann, M. (Hrsg.). NaTech 7. Physik, Chemie, Biologie, 1. Aufl.
- [84] Rossow, M. (2007). Chemie fürs Leben – eine neue Unterrichtskonzeption von der Einführung der Oxidationsreaktionen bis zur Erweiterung des Redox-Begriffes und Anknüpfungspunkte für die Sekundarstufe II. Rostock.

- [85] Kappenberg, F. (2009). <https://www.teachershelper.de/experiments/g-temp/pdf-32/g17.pdf> (letzter Zugriff am 9.7.2022).
- [86] Wagner, W. (2014). Demonstration der Erstarrungswärme von Wasser.  
[http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/experimente/chembox/t\\_ernstarr/t\\_ernstarr\\_h2o.htm](http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/experimente/chembox/t_ernstarr/t_ernstarr_h2o.htm) (letzter Zugriff am 9.7.2022).
- [87] Osteroth, M., Wöhrmann, H. (2001). Diwasserstoffmonoxid. CHEMKON 2001/Nr. 3.
- [88] Giesecke, A., N. S. thesimpleclub. Was sind Teilchen?! - Teilchenvorstellung.  
[https://app.simpleclub.com/de/video/c\\_0279?playlist=etl3qHImLLuJxi2iAgJu\\_j9gebVbVE90tovNza7VW\\_nAMf6PsTF2IeyxCImzVn](https://app.simpleclub.com/de/video/c_0279?playlist=etl3qHImLLuJxi2iAgJu_j9gebVbVE90tovNza7VW_nAMf6PsTF2IeyxCImzVn) (letzter Zugriff am 6.5.2019).
- [89] Nguyen-Kim, M. T. YouTube. Teilchenmodell I Atome I Moleküle I musstewissen Chemie. <https://www.youtube.com/watch?v=ej7-EbeXpmI> (letzter Zugriff am 6.5.2019).
- [90] Hoffmann, T., Menthe, J. (2015). Inklusiver Chemieunterricht: Chance und Herausforderung.
- [91] Giest, H., Wiesemann, J. (Hrsg.) (2008). Kind und Wissenschaft. Welches Wissenschaftsverständnis hat der Sachunterricht? Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- [92] Abell, S. K., Lederman, N. G. (Hrsg.) (2007). HANDBOOK OF RESEARCH ON SCIENCE EDUCATION. Chapter 22 Teaching and Learning the Many Faces of Chemistry, Onno De Jong and Keith S. Tab. LAWRENCE ERLBAUM ASSOCIATES, PUBLISHERS, Mahwah, New Jersey.
- [93] Bindernagel, J. A., Eilks, I. (2008). Modelle und Modelldenken im Chemieunterricht und ein Einblick in das Verständnis von erfahrenen Chemielehrkräften. CHEMKON 15/4, 181–186.
- [94] Eilks, I., Möllering, J., Leerhoff, G., Ralle, B. (2001). Teilchenmodell oder

- Teilchenkonzept? Oder: Rastertunnelmikroskopie im Anfangsunterricht.  
CHEMKON 8/2, 81–85.
- [95] Nordmeier, V. & Grötzebauch, H. (Dresden 2018). PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. [36] Nordmeier, V. Grötzebauch, H. (Hrsg.), Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung - Jahresband 2018. Zur Überzeugungskraft von Experimenten zum Teilchenmodell. PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 217–226.
- [96] Fischler, H. (Hrsg.) (2006). Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht. Logos-Verl., Berlin.
- [97] Duit, R. (1993). Alltagsvorstellungen berücksichtigen. PdN-Ph 42/6, 7–11.
- [98] Fritsch L., Ehlert, M. (1990). Vorstellungen der Schüler vom Bau der Stoffe. ChidS 37/4, 118–127.
- [99] Barke, H. D. (2006). Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen, 1. Aufl. Springer, Berlin.
- [100] Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.) (2018). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [101] Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. Ergänzende Informationen zum LehrplanPLUS. Veranschaulichung von Vorgängen auf Teilchenebene im einfachen Teilchenmodell des Anfangsunterrichts.
- [102] Gross, L., Schuler, B., Pavliček, N., Fatayer, S., Majzik, Z., Moll, N., Peña, D., Meyer, G. (2018). Atomic Force Microscopy for Molecular Structure Elucidation. Angewandte Chemie (International ed. in English) 57/15, 3888–3908.
- [103] Steins, G., Spinath, B., Dutke, S., Roth, M., Limbourg, M. (Hrsg.) (2022).

Mythen, Fehlvorstellungen, Fehlkonzepte und Irrtümer in Schule und Unterricht, 1. Aufl. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer, Wiesbaden.

- [104] Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (2018). Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [105] Sicherheitsdatenblatt Brennspiritus. [https://www.avg-robyrob.de/downloads/sd15959\\_-\\_Brennspiritus\\_\(DE\).pdf](https://www.avg-robyrob.de/downloads/sd15959_-_Brennspiritus_(DE).pdf) (letzter Zugriff am 7.5.2019).
- [106] Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E. (2009, [20]09). Chemie. Die zentrale Wissenschaft, 10. Aufl. Pearson Studium, München <sup>8[u.a.]</sup>.
- [107] Asselborn, W. (Hrsg.) (2013). Chemie heute. Sekundarbereich 1 ; Geeignet für: Baden-Württemberg, Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Saarland, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein, Thüringen ; Schulform: Gemeinschaftsschule, Gymnasium, Integrierte Gesamtschule, Kooperative Gesamtschule, Stadtteilschule, Oberschule. Schroedel, Braunschweig.
- [108] Schmidkunz, H. (1983). Die Gestaltung chemischer Demonstrationsexperimente nach wahrnehmungs-psychologischen Erkenntnissen. Naturwissenschaften im Unterricht 31, 360–366.
- [109] Voß, T., Wagner, W. (2023). Technical and basic terms in chemistry school books. CHEMKON 30/1, 30–36.
- [110] Leisen, J. (2017). [Duplikat] Handbuch Fortbildung Sprachförderung im Fach. Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis. Praxismaterialien, 1. Aufl. Ernst Klett Sprachen, Stuttgart.
- [111] Schäfer, B. (2022). A haptic particle model of the air – Development, usage and experience in science lessons. CHEMKON 29/5, 402–407.
- [112] Probst, C., Fetzer, D., Lukas, S., Huwer, J. (2021). Effekte von Augmented

Reality (AR) zur Visualisierung eines dynamischen Teilchenmodells – virtuelle Modelle zum Anfassen. CHEMKON.

- [113] Salmi, H., Kaasinen, A., Kallunki, V. (2012). Towards an Open Learning Environment via Augmented Reality (AR): Visualising the Invisible in Science Centres and Schools for Teacher Education. Procedia - Social and Behavioral Sciences **45**, 284–295.
- [114] Olympiou, G., Zacharia, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. Sci. Ed. **96**/1, 21–47.
- [115] Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. Computers & Education **62**, 41–49.
- [116] Freiheit, B. (2008). Stoffen, ihren Eigenschaften und Veränderungen auf der Spur.
- [117] Kaltschmitt, M., Hartmann, H., Hofbauer, H. (2009). Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2. Aufl. Springer, Berlin.
- [118] Sicherheit beim Grillen - so grillt man sicher.  
<https://www.grillsportverein.de/sicherheit-beim-grillen/> (letzter Zugriff am 16.8.2019).
- [119] WWF Deutschland (2018). Das schmutzige Geschäft mit der Grillkohle. Marktanalyse Grillkohle 2018. Berlin.
- [120] Lange, G. Feuer und Flamme. Experimente und Informationen rund um die Kerze. [https://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/storages/unirostock/Alle\\_MNF/Chemie\\_Didaktik/Forschung/Sekundarstufe\\_I/6.\\_Feuer\\_und\\_Flamme.pdf](https://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/storages/unirostock/Alle_MNF/Chemie_Didaktik/Forschung/Sekundarstufe_I/6._Feuer_und_Flamme.pdf) (letzter Zugriff am 20.8.2020).
- [121] Geiss, R. (2017). Die Verwandlung der Stoffe. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- [122] Seilnacht, T. Die Kerze. <https://www.seilnacht.com/versuche/kerze.html>

(letzter Zugriff am 20.8.2020).

- [123] Wagner, T., Kempke, T. (2022). Imaging meets chemistry: The application of a thermal imaging camera in chemistry classes of secondary schools first stage. *CHEMKON* **29**/7, 664–672.
- [124] van Reybrouck, D. (2022). Revolusi. Indonesien und die Entstehung der modernen Welt. Suhrkamp Verlag, Berlin.
- [125] Kunert, D. Der Cartesischer Taucher als Mini-U-Boot.  
<https://www.forscherland-bw.de/experimente-unterricht/schnellversuche/cartesischer-taucher> (letzter Zugriff am 4.6.2022).
- [126] D. Wiechoczek (2008). "Prof. Blumes Tipp des Monats August 2004 (Tipp-Nr. 86). Abflussreiniger sind gefährlich.  
[https://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/08\\_04.htm](https://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/08_04.htm) (letzter Zugriff am 29.7.2020).

# Curriculum vitae

## Persönliche Daten

**Name:** Tom Kempke  
**Geburtsdaten:** 16.02.1990 in Waren (Müritz)  
**Familienstand:** verheiratet, 1 Kind  
**Staatsangehörigkeit:** deutsch

## Ausbildung

07/2000 - 06/2006 **Regionale Schule Waren West**  
Mittlere Reife

### **Ausbildung zum Koch**

09/2006-12/2008 Hotel und Restaurant Paulshöhe  
12/2008-08/2009 Hotel Kranichrast  
Facharbeiter Koch

09/2009 - 06/ 2012 **Fachgymnasium Malchin**  
Abitur

10/2012 - 03/2018 **Universität Rostock**  
1. Staatsexamen Lehramt an  
Regionalen Schulen  
(Biologie und Chemie)

04/2018 - 08/2023 **Universität Rostock**  
Promotionsstudium und Aufbaustudium  
1. Staatsexamen Lehramt an  
Gymnasien  
(Biologie und Chemie)

seit 08/2023 **Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie**  
**Romain-Rolland-Gymnasium**  
berufsbegleitendes Referendariat

## Tätigkeiten

### **Staatliches Schulamt Rostock**

Teilzeitbeschäftigte Lehrkraft

08/2021 - 07/2023 Regionale Schule „Otto-Lilienthal-Schule“  
12/2016 - 06/2021 Hundertwasser-Gemtschule Rostock  
03/2015 - 05/2015 Hundertwasser-Gemtschule Rostock

10/2017 - 03/2018 **Universität Rostock**  
Studentische Hilfskraft  
Abteilung Didaktik der Chemie

10/2016 - 02/2017 **Universität Rostock**  
Studentische Hilfskraft  
Abteilung Organische Chemie

# **Erklärung gemäß § 4 Absatz 1 Buchstaben g und h der Promotionsordnung**

Doktorandinnen/Doktoranden-Erklärung gemäß § 4 Absatz 1 Buchstaben g und h der Promotionsordnung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock

Name: Kempke, Tom

(Name, Vorname)

Anschrift: Hauptstraße 154, 13158, Berlin

(Straße, PLZ, Wohnort)

Ich habe eine Dissertation zum Thema:

Inklusion im Chemieunterricht

Planung und Umsetzung eines heterogenitätssensiblen Chemieanfangsunterrichts

an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock angefertigt. Dabei wurde ich von Herrn Prof. Dr. Alfred Flint betreut.

Ich gebe folgende Erklärung ab:

1. Die Gelegenheit zum vorliegenden Promotionsvorhaben ist mir nicht kommerziell vermittelt worden. Insbesondere habe ich keine Organisation eingeschaltet, die gegen Entgelt Betreuerinnen/Betreuer für die Anfertigung von Dissertationen sucht oder die mir obliegenden Pflichten hinsichtlich der Prüfungsleistungen für mich ganz oder teilweise erledigt.
2. Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Dazu habe ich keine außer den von mir angegebenen Hilfsmitteln und Quellen verwendet und die den benutzten Werken inhaltlich und wörtlich entnommenen Stellen habe ich als solche kenntlich gemacht.

Berlin, den 24.01.2024

(Unterschrift)

### **Selbstständigkeitserklärung**

Zu meiner Dissertation „Inklusion im Chemieunterricht - Planung und Umsetzung eines heterogenitätssensiblen Chemieanfangsunterrichts“ gebe ich folgende Erklärung ab:

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Dazu habe ich keine außer den von mir angegebenen Hilfsmitteln und Quellen verwendet und die den benutzten Werken inhaltlich und wörtlich entnommenen Stellen habe ich als solche kenntlich gemacht.

Berlin, den 24.01.2024

.....

(Unterschrift)