

„Das mein ich ja – oder doch nicht?“

Qualitative Analyse von Redebeiträgen von Lernenden  
im chemieunterrichtlichen Diskurs der Sekundarstufe I



DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Pädagogik

Vorgelegt von Mag. Sabine Seidl

Eingereicht bei der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Universität Siegen  
Siegen 2023

Betreuer und erster Gutachter

Prof. Dr. Martin Gröger

Universität Siegen

Betreuer und zweiter Gutachter

Prof. Dr. Bernhard Schmölder

Pädagogische Hochschule Kärnten

## Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Martin Gröger vom Department Chemie und Biologie der Universität Siegen für die Möglichkeit, diese Arbeit im Rahmen des bilateralen „Erasmus+“-Agreements mit der österreichischen Pädagogischen Hochschule Kärnten anzufertigen. Ohne seine wertvollen Impulse, seine großartige Betreuung und die unzähligen anregenden Gespräche wäre die vorliegende Arbeit nicht realisiert worden. Prof. Dr. Oliver Schwarz vom Department für Physik der Universität Siegen möchte ich ebenfalls an dieser Stelle für seine Bereitschaft, als Prüfer zu fungieren, herzlich danken.

Mein großer Dank gilt auch Prof. Mag. Dr. Bernhard Schmölzer, Leiter des Fachdidaktikzentrums für Naturwissenschaften an der Pädagogischen Hochschule Kärnten, der die initiale Vernetzung mit der Universität Siegen ermöglichte und mir vor Ort mit Ideen und Beratung während der Entstehungsphase der Arbeit zur Seite stand.

Mein herzlicher Dank gilt Prof. Dr. Silvija Markic vom Department Chemie der Ludwig-Maximilians-Universität München, die aufgrund ihrer großen Expertise im Bereich der Chemiedidaktik wertvolle Beiträge zur vorliegenden Arbeit leisten konnte.

Bei Prof. Mag. Dr. Helga Voglhuber und Prof. OStR Mag. Dr. Elfriede Witschel bedanke ich mich für die ertragreiche Zusammenarbeit während der Datenauswertung. Die beiden Fachdidaktikerinnen der Pädagogischen Hochschule Kärnten aus den Bereichen Chemie bzw. Deutsch haben maßgeblich zu den vorliegenden Ergebnissen beigetragen.

Ein großes Dankeschön geht an die Leiterin des Instituts der Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Pädagogik der Sekundarstufe der Pädagogischen Hochschule Kärnten, Prof. Mag. Edith Erlacher-Zeitlinger, MAS, die meine Arbeit uneingeschränkt unterstützt hat. An dieser Stelle sei auch dem Team Sprachbewusster Unterricht am gleichnamigen Institut gedankt, das mich mit Ideen aus der Praxis und wertvollen Gesprächen immer wieder in meinem Promotionsvorhaben bestärkt hat.

Mein Dankeschön gilt außerdem den Schulklassen mit ihren Lehrpersonen, die an der Studie teilnahmen und mir so die Möglichkeit der Datenakquirierung gaben.

Schließlich gilt mein herzlichster Dank meiner Lebensgefährtin Kerstin Kronberger für ihre Geduld und die immerwährende Unterstützung während der gesamten Zeit der Promotion.

## Zusammenfassung

Eine qualitätsvolle Kommunikation von Lernenden stellt einen wichtigen Bestandteil des Chemieunterrichts dar. Die chemische Fachsprache ist jedoch Lernmedium und Lernziel zugleich. Der Erwerb führt unweigerlich zu Verständnis- und Formulierungsschwierigkeiten. Eine Untersuchung (fach-)sprachlicher Formulierungen in den Redebeiträgen unter Fachperspektive ist folglich ein klares Forschungsdesiderat, gerade weil die Qualität der Redebeiträge der Lernenden nachdenklich stimmt: Die Antworten bestehen häufig aus weniger als drei Wörtern, die häufig weder eine fachgerechte verbale Ausdrucksweise aufweisen noch Rückschlüsse auf den Inhalt zulassen. Eine Verbesserung des aktiven mündlichen Unterrichtsdiskurses im vorwiegend mündlich geprägten Fach Chemie birgt hohes Potenzial in sich, zu einer nachhaltigen Lernertragssteigerung beizutragen.

Dieses Promotionsvorhaben generierte eine Bestandsaufnahme (fach-)sprachlicher Stolpersteine im wenig beforschten Bereich der mündlichen Sprachhandlungen von Lernenden im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. Die Daten der vorliegenden Arbeit wurden im chemieunterrichtlichen Schulalltag im Rahmen von Leitfadeninterviews in fünf Klassen aus zwei österreichischen Schulen im qualitativen Ansatz akquiriert.

Die Ergebnisse weisen auf drei große Bereiche (fach-)sprachlicher Herausforderungen hin: unklare Referenzen zwischen Verweis- und Bezugswörtern, problematische Wechsel zwischen den chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy und eine ambivalente Verwendung des Begriffs *Element*.

## Abstract

Quality communication of learners has become a fundamental part of chemistry education as the scientific language of chemistry is both a study goal and a study tool. Therefore, its acquisition inevitably leads to phrasing difficulties and misunderstandings. These challenges are even more evident when it comes to speech communication.

The speech communication quality of learners in chemistry lessons is indeed concerning; in general, learners' answers consist of fewer than three words. They contain neither adequate terminology nor is it possible to draw coherent conclusions about the chemistry content from them. Consequently, it is a clear desideratum of research to analyse the learners' usage of both the scientific language of chemistry and the wording. In turn, improving speech communication skills among learners has potential to contribute to improved long-term learning performance, considering the fact that chemistry lessons contain a high amount of speech communication.

This doctoral thesis generates a survey of obstacles in the scientific language of chemistry. The research focuses on difficulties in speech communication of secondary school chemistry learners. Little is known so far in this particular field of research. The current data has been acquired in two Austrian schools. Guided interviews were conducted in five classes. A qualitative method has been applied for data acquisition.

Results indicate three major areas of concerns: unclear pronoun-antecedent agreement, problematic shifts between chemical concept levels according to Mahaffy, and an ambiguous application of the term *element*.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>III</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>V</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>X</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>XVI</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Stand der Forschung und Forschungsfragen</b> .....	<b>6</b>
2.1 Stand der Forschung.....	6
2.2 Forschungsfragen .....	9
<b>3 Spannungsfeld Alltags-, Bildungs- und Fachsprache</b> .....	<b>11</b>
3.1 Sprachökonomie oder Stolperstein? .....	11
3.1.1 Verweisformen .....	13
3.1.2 Anthropomorphismen .....	16
3.2 Die Fachsprache .....	17
3.2.1 Die chemische Fachsprache mit ihren spezifischen Sprachelementen ...	19
3.2.2 Kognitive „Übersetzungsleistung“ der Lernenden .....	25
3.2.3 Interaktion chemischer Konzeptebenen .....	27
3.2.4 Herausforderung Elementbegriff .....	30
3.3 Mündliche Kommunikation .....	33
3.3.1 Redeanteile von Lernenden im Chemieunterricht .....	38
3.3.2 Länge der Antworten von Lernenden im Chemieunterricht.....	40
<b>4 Theoretische Grundlagen zum Forschungsdesign</b> .....	<b>43</b>
4.1 Das Leitfadeninterview .....	44
4.2 Die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring .....	44
4.3 Gütekriterien.....	47
<b>5 Forschungsdesign und Datenerhebung</b> .....	<b>51</b>
5.1 Datenerhebung .....	51

5.2	Entwicklung der Stimulationsfragen .....	52
5.3	Vorstudie .....	54
5.4	Hauptstudie .....	56
5.5	Ergebnisse zur Sicherung der Reliabilität .....	58
5.5.1	Codegenese .....	58
5.5.2	Inter- und Intracoderreliabilität.....	59
<b>6</b>	<b>Datenauswertung und Ergebnisse .....</b>	<b>62</b>
6.1	Überblick über die Ergebnisdarstellung .....	62
6.2	Das Codesystem.....	63
6.3	Die problematische Verbindung zwischen Verweis- und Bezugswort ( <i>Verbale Verschleierung</i> ) .....	67
6.3.1	Hauptcode <i>Allgemeine Verschleierung (V<sub>A</sub>)</i> .....	67
6.3.1.1	Subcode <i>Allgemeine Verschleierung/sie</i> .....	68
6.3.1.2	Subcode <i>Allgemeine Verschleierung/sonstige Platzhalter</i> .....	69
6.3.2	Hauptcode <i>Positive Verschleierung (V<sub>+</sub>)</i> .....	70
6.3.2.1	Subcode <i>Positive Verschleierung/sie</i> .....	71
6.3.2.2	Subcode <i>Positive Verschleierung/sonstige Platzhalter</i> .....	72
6.3.3	Hauptcode <i>Negative Verschleierung (V<sub>-</sub>)</i> .....	73
6.3.3.1	Subcode <i>Negative Verschleierung/sie</i> .....	74
6.3.3.2	Subcode <i>Negative Verschleierung/sonstige Platzhalter</i> .....	75
6.4	Problematische Wechsel zwischen allen chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy .....	77
6.4.1	Subcode <i>Teilchen–Lebenswelt</i> .....	78
6.4.2	Subcode <i>Teilchen–Symbol</i> .....	80
6.4.3	Subcode <i>Stoff–Teilchen</i> .....	82
6.4.4	Subcode <i>Stoff–Lebenswelt</i> .....	83
6.4.5	Subcode <i>Symbol–Lebenswelt</i> .....	85
6.4.6	Subcode <i>Symbol–Stoff</i> .....	86
6.5	Unschärfeproblem Elementbegriff.....	88
6.6	Häufigkeiten (fach-)sprachlicher Strategien und Schwierigkeiten bezogen auf die Interviews .....	90
6.7	Häufigkeiten (fach-)sprachlicher Schwierigkeiten bezogen auf die Zahl der Gesamtcodierungen.....	92

<b>7</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>98</b>
7.1	Die problematische Verbindung zwischen Verweis- und Bezugswort: Strategie der <i>verbalen Verschleierung</i> (Forschungsfrage 1) .....	99
7.2	Differenzierung fachsprachlicher Schwierigkeiten von Lernenden (Forschungsfrage 2).....	102
7.2.1	Problematische Wechsel zwischen <i>allen</i> vier chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy .....	103
7.2.2	Unschärfeproblem Elementbegriff: Identifikation des Begriffs <i>Element</i> als Platzhalter für andere chemische Fachbegriffe .....	108
7.3	Tendenzen zur Häufigkeit der gesichteten (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten (Forschungsfrage 3).....	108
7.3.1	Verteilung der Codes innerhalb der Population in Bezug auf die Zahl der Gesamtcodierungen .....	109
7.3.2	Verteilung der Codes in Bezug auf die mindestens einmalige Sichtung pro Interview (Einmalsichtung) .....	111
7.3.3	Interpretation der Codematrix.....	114
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>117</b>
8.1	Zusammenfassung.....	117
8.2	Ausblick.....	120
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>122</b>
<b>10</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>135</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fachtextausschnitt mit einer hohen Dichte an Rückverweisen (Leisen, 2017, S. 44) .....	16
Abbildung 2: Textauszug aus einem Chemiebuch mit Fokus auf Verweiswörter (Magyar et al., 2020, S. 34) .....	16
Abbildung 3: Sprachebenen am Beispiel des Siedens von Wasser (adaptiert nach Strippel & Bohrmann-Linde, 2018, S. 242) .....	22
Abbildung 4: Symbolische und ikonische Darstellungen aus dem Alltag .....	24
Abbildung 5: Symbolische und ikonische Darstellungen aus dem Schul- bzw. Chemieunterricht .....	25
Abbildung 6: Links: Erklärungs- und Konzeptebenen adaptiert nach Johnstone (Johnstone, 2000). Rechts: Erklärungs- und Konzeptebenen adaptiert nach Mahaffy (Mahaffy, 2006) .....	27
Abbildung 7: Beispiele problematischer Wechsel zwischen der Stoff- und der Teilchenebene (Beispiel 1–4: Sieve, 2021, S. 19–20; Beispiel 5–8: Sgoff et al., 2005, S. 7) .....	30
Abbildung 8: Ablaufmodell der induktiven Codierung nach Mayring (Mayring & Fenzl, 2014) .....	46
Abbildung 9: Generierte Hauptcodes (eigener Screenshot aus MAXQDA) .....	65
Abbildung 10: Generierte Haupt- und Subcodes (eigener Screenshot aus MAXQDA) .....	66
Abbildung 11: Übersicht über die Codegruppe <i>Allgemeine Verschleierung</i> (eigener Screenshot aus MAXQDA) .....	67
Abbildung 12: <i>Allgemeine Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sonstige Platzhalter</i> . Stimulationsfrage B („Was bedeutet <i>Elektronen abgeben</i> , wenn man von der Ionenbindung spricht?“) .....	68
Abbildung 13: <i>Allgemeine Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sonstige Platzhalter</i> . Stimulationsfrage E („Was ist eine Doppelbindung und wie kommt sie zustande?“) .....	68
Abbildung 14: <i>Allgemeine Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“) .....	69
Abbildung 15: <i>Allgemeine Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage E („Was ist eine Doppelbindung und wie kommt sie zustande?“) .....	69

Abbildung 16: <i>Allgemeine Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sonstige Platzhalter</i> . Stimulationsfrage E („Was ist eine Doppelbindung und wie kommt sie zustande?“).....	70
Abbildung 17: <i>Allgemeine Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sonstige Platzhalter</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“) .....	70
Abbildung 18: Übersicht über die Codegruppe <i>Positive Verschleierung</i> (eigener Screenshot aus MAXQDA).....	70
Abbildung 19: <i>Positive Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz <i>Ionen sind geladene Teilchen?</i> “) .....	71
Abbildung 20: <i>Positive Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “). Beispiel 1 .....	71
Abbildung 21: <i>Positive Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “). Beispiel 2 .....	72
Abbildung 22: <i>Positive Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sonstige Platzhalter</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“) .....	72
Abbildung 23: <i>Positive Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sonstige Platzhalter</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “).....	73
Abbildung 24: Übersicht über die Codegruppe <i>Negative Verschleierung</i> (eigener Screenshot aus MAXQDA).....	73
Abbildung 25: <i>Negative Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: <i>Ionen sind geladene Teilchen?</i> “). .....	74
Abbildung 26: <i>Negative Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: <i>Ionen sind geladene Teilchen?</i> “). .....	74
Abbildung 27: <i>Negative Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“) .....	75
Abbildung 28: <i>Negative Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “) .....	75
Abbildung 29: <i>Negative Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sie</i> . Stimulationsfrage B („Was bedeutet <i>Elektronen abgeben</i> , wenn man von der Ionenbindung spricht?“).....	75

Abbildung 30: <i>Negative Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sonstige Platzhalter</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “).....	76
Abbildung 31: <i>Negative Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sonstige Platzhalter</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “).....	76
Abbildung 32: <i>Negative Verschleierung</i> mit dem Subcode <i>sonstige Platzhalter</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“) .....	76
Abbildung 33: Übersicht über die Codegruppe <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> (eigener Screenshot aus MAXQDA) .....	78
Abbildung 34: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“).....	78
Abbildung 35: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “). .....	79
Abbildung 36: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “). .....	79
Abbildung 37: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “) .....	80
Abbildung 38: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“).....	80
Abbildung 39: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Symbol</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: <i>Ionen sind geladene Teilchen?</i> “).....	81
Abbildung 40: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Symbol</i> . Stimulationsfrage B („Was bedeutet <i>Elektronen abgeben</i> , wenn man von der Ionenbindung spricht?“) .....	81
Abbildung 41: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Symbol</i> . Stimulationsfrage E („Was ist eine Doppelbindung und wie kommt sie zustande?“) .....	82

Abbildung 42: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Stoff-Teilchen</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“). Beispiel 1 .....	83
Abbildung 43: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Stoff-Teilchen</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“).....	83
Abbildung 44: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Stoff-Teilchen</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “).....	83
Abbildung 45: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Stoff-Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“) ..	84
Abbildung 46: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Stoff-Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “).....	85
Abbildung 47: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen-Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “). .....	85
Abbildung 48: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Symbol-Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: <i>Ionen sind geladene Teilchen?</i> “).....	86
Abbildung 49: <i>Problematischer Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Symbol-Stoff</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: <i>Ionen sind geladene Teilchen?</i> “).....	86
Abbildung 50: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Symbol-Stoff</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“) .....	87
Abbildung 51: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Symbol-Stoff</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: <i>Ionen sind geladene Teilchen?</i> “).....	87
Abbildung 52: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Symbol-Stoff</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: <i>Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?</i> “).....	88
Abbildung 53: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Symbol-Stoff</i> . Stimulationsfrage B („Was bedeutet <i>Elektronen abgeben</i> , wenn man von der Ionenbindung spricht?“).....	88

Abbildung 54: <i>Unschärfeproblem Elementbegriff</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“) .....	88
Abbildung 55: <i>Unschärfeproblem Elementbegriff</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet Ionen sind geladene Teilchen?“) .....	89
Abbildung 56: <i>Unschärfeproblem Elementbegriff</i> . Stimulationsfrage B („Was bedeutet Elektronen abgeben, wenn man von der Ionenbindung spricht?“) .....	89
Abbildung 57: <i>Unschärfeproblem Elementbegriff</i> . Stimulationsfrage B („Was bedeutet Elektronen abgeben, wenn man von der Ionenbindung spricht?“) .....	89
Abbildung 58: Erläuterungen zur Codematrix: Die Spalte repräsentiert ein Interview (hier: Befragte #1W). Die Zeilen entsprechen allen Codegruppen. Im Interview #1W wurden in Summe fünf Codes vergeben: je zwei Codes aus dem Bereich <i>Allgemeine Verschleierung/sonstige Platzhalter</i> , ein Code aus <i>Negative Verschleierung/sonstige Platzhalter</i> und zwei Codierungen aus <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen/Teilchen–Lebenswelt</i> .....	94
Abbildung 59: Codematrix der Befragten Nr. 1–36 .....	95
Abbildung 60: Codematrix der Befragten Nr. 37–76 .....	96
Abbildung 61: Codematrix der Befragten Nr. 77–82 .....	97
Abbildung 62: Erläuterungen zur Genese der drei Formen <i>verbaler Verschleierung</i> .....	101
Abbildung 63: Veranschaulichung der Konzeptebenen adaptiert nach Mahaffy (2006) .....	103
Abbildung 64: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?“) .....	104
Abbildung 65: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Stoff–Teilchen</i> . Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“).....	105
Abbildung 66: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Symbol–Stoff</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: Ionen sind geladene Teilchen?“).....	105
Abbildung 67: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Teilchen–Symbol</i> . Stimulationsfrage B („Was bedeutet Elektronen abgeben, wenn man von der Ionenbindung spricht?“) .....	106

Abbildung 68: <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> mit dem Subcode <i>Symbol–Lebenswelt</i> . Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: <i>Ionen sind geladene Teilchen?</i> “).....	107
Abbildung 69: <i>Unschärfeproblem Elementbegriff</i> . Stimulationsfrage B („Was bedeutet <i>Elektronen abgeben</i> , wenn man von der Ionenbindung spricht?“).....	108
Abbildung 70: Zahl der Interviews mit mindestens einem Code. Legende: T/L = Ebenenwechsel Teilchen–Lebenswelt, St/T = Ebenenwechsel Stoff–Teilchen, VA SP = Allgemeine Verschleierung mit sonstigen Platzhaltern, Sy/St = Ebenenwechsel Symbol–Stoff, UE = Unschärfeproblem Elementbegriff, V <sub>-</sub> SP = Negative Verschleierung mit sonstigen Platzhaltern, T/Sy = Ebenenwechsel Teilchen–Symbol, VA „sie“ = Allgemeine Verschleierung mit „sie“, V <sub>-</sub> „sie“ = Negative Verschleierung mit „sie“, V <sub>+</sub> SP = Positive Verschleierung mit sonstigen Platzhaltern, V <sub>+</sub> „sie“ = Positive Verschleierung mit „sie“, St/L = Ebenenwechsel Stoff–Teilchen, Sy/L = Ebenenwechsel Symbol–Lebenswelt .....	112
Abbildung 71: Fachsprachlich solide Formulierung zur Stimulationsfrage B („Was bedeutet <i>Elektronen abgeben</i> , wenn man von der Ionenbindung spricht?“).....	115
Abbildung 72: Fachsprachlich solide Formulierung zur Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: <i>Ionen sind geladene Teilchen?</i> “).....	115
Abbildung 73. Ampelkarten (eigene Aufnahme) .....	136

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Merkmale der Alltags- und Bildungssprache (Leisen, 2022, S. 17) .....	13
Tabelle 2: Beispiele für stringente Rückverweise im alltäglichen und chemischen Kontext .....	14
Tabelle 3: Verweiswörter im chemischen Kontext (Rautenstrauch, 2017, S. 26) .....	15
Tabelle 4: Funktionen von Fach- und Bildungssprache (Morek & Heller, 2012, S. 6).....	18
Tabelle 5: Merkmale der Fachsprache (Carnevale &Wojnesitz, 2014).....	19
Tabelle 6: Syntaktische und morphologische Merkmale im chemischen Kontext.....	22
Tabelle 7: Parallelen zwischen Schrift- und Formelsprache adaptiert nach Sieve & Bernholt (2021).....	23
Tabelle 8: Informationen in einer Darstellung der Bindungsbildung von Magnesiumoxid (Hoelzl, 2021).....	26
Tabelle 9: Definition des Terminus <i>Element</i> auf der makroskopischen und der submikroskopischen Ebene (Sieve et al., 2022) .....	31
Tabelle 10: Inhaltsanalytische Regeln am Beispiel der induktiven Codierung (adaptiert nach Mayring & Fenzl, 2014) .....	47
Tabelle 11: Abgeleitete Bedingungen für eine induktive Codierung hinsichtlich der Forschungsfragen.....	47
Tabelle 12: Erfüllte Gütekriterien qualitativer Forschung (adaptiert nach Steinke, 1999) für die vorliegenden Arbeit .....	49
Tabelle 13: Koeffizient $\kappa$ zur Überprüfung der Intracoderreliabilität .....	50
Tabelle 14: Stimulationsfragen der Vorstudie .....	53
Tabelle 15: Erweiterte Liste der Stimulationsfragen der Hauptstudie .....	54
Tabelle 16: Beispiele für Zwischen- bzw. Rückfragen im Gesprächsverlauf.....	57
Tabelle 17: Bereichsdefinitionen für $\kappa$ (adaptiert Landis & Koch, 1977) .....	60
Tabelle 18: Koeffizient $\kappa$ zur Überprüfung der Intracoderreliabilität (N = 1) .....	61
Tabelle 19: $\kappa$ -Koeffizienten zur Überprüfung der Inter- und Intracoderreliabilität.....	61
Tabelle 20: Übersicht über die Ergebnisdarstellung .....	63
Tabelle 21: Hauptbereiche des erhaltenen Codesystems .....	64
Tabelle 22. Übersicht über das Codesystem mit kurzer Erläuterung .....	64
Tabelle 23: Übersicht über die Codierungen in der Population, basierend auf 82 Interviews .....	90
Tabelle 24: Einmalsichtung der Subcodes aus <i>Allgemeine Verschleierung</i> .....	91

Tabelle 25: Einmalsichtungen der Subcodes aus <i>Positive Verschleierung</i> .....	91
Tabelle 26: Einmalsichtungen der Subcodes aus <i>Negative Verschleierung</i> .....	91
Tabelle 27: Einmalsichtungen der Subcodes aus <i>Problematische Wechsel der Konzeptebenen</i> .....	91
Tabelle 28: Einmalsichtungen des Hauptcodes <i>Unschärfeproblem Elementbegriff (keine Subcodes)</i> .....	92
Tabelle 29: Übersicht und absolute Häufigkeit von Codes. Gesamtcodierungen = 584. Die Zahlen stehen für die absoluten Häufigkeiten der jeweils vergebenen Codes .....	93
Tabelle 30: Hauptbereiche (fach-)sprachlicher Schwierigkeiten in der Population ....	99
Tabelle 31: Übersicht über alle Haupt- und Subcodes und deren absolute Häufigkeit; Zahlen stellen die absoluten Häufigkeiten jedes Subcodes dar .....	110
Tabelle 32: Ausgewählte Interviews mit hoher Dichte an Codierungen .....	114
Tabelle 33. Didaktische Ziele in Bezug auf die Verwendung von Ampelkarten .....	136

# 1 Einleitung

„Die Philosophie steht in diesem großen Buch geschrieben, das unserem Blick ständig offen liegt [ich meine das Universum]. Aber das Buch ist nicht zu verstehen, wenn man nicht zuvor die Sprache erlernt und sich mit den Buchstaben vertraut gemacht hat, in denen es geschrieben ist.“

Galileo Galilei

Schon Galileo Galilei betonte die Wichtigkeit des Werkzeugs *Sprache* im Hinblick auf das Verständnis von Naturwissenschaften. Es wird betont, dass eine Sprache notwendig ist, die die universellen naturwissenschaftlichen Zusammenhänge beschreiben kann (Behrends, 2010). Eine erfolgreiche Kommunikation kann nur durch Sprache gelingen – im Tierreich wie auch beim Menschen. Die verwendeten symbolischen Zeichen jeder Sprache sind arbiträr, werden nach bestimmten Regeln verknüpft, damit nachvollziehbare semantische Einheiten kreiert werden. Nur so können Inhalte bzw. Informationen kausal vermittelt werden (Zwahr, 2006).

Mit seinem Ansatz, *die Sprache sei das bildende Organ der Gedanken*, betonte einst schon Wilhelm von Humboldt die hohe Relevanz von Sprache im Denk- und Lernprozess (Humboldt, 1836). Damit sprachliche Äußerungen differenziert in individuellen Kommunikationssituationen eingesetzt werden können, sind viele kognitive Kompetenzen gefordert, da die Sprache neben der kommunikativen auch eine identitätsstiftende Funktion besitzt, die gesellschaftlichen Strömungen unterliegt (ebd.). Dies wird in der Regel durch verschiedene Sprachformen (Varietäten) bzw. durch Bindung an soziale (Soziolekte) und fachspezifische Gruppierungen (Fach- und Berufssprachen) deutlich. Fachsprachen, wie auch die Fachsprachen der Naturwissenschaften, setzen neben dem konventionellen bildungs- und fachsprachlichen Register auch eine hohe Dichte an Ziffern, Zeichen, Symbolen und ikonischen Darstellungen ein. Diese Besonderheiten stellen Lernende im Schulalltag vor große Herausforderungen. Eine fundamentale naturwissenschaftliche Grundbildung für alle scheint unumgänglich zu sein, wenn man sich seriös und zeitgemäß am gesellschaftlichen Austausch beteiligen möchte (Stäudel et al., 2008).

Heute gilt die sprachliche Handlungsfähigkeit – in den Naturwissenschaften im Allgemeinen und in der Chemie im Besonderen – als unentbehrlich für eine erfolgreiche und aktive Teilhabe an Gesellschaft, Medizin und Wirtschaft (Jahnke-Klein & Busse, 2019). Die Sprache als gemeinsame Durchschnittsmenge aller Fachdidaktiken ist aktuell klar sichtbar in der langen experimentell ausgerichteten naturwissenschaftlichen Didaktik. Die Forschungsfelder hinsichtlich des Erwerbs einer soliden chemischen Fachsprache sowohl seitens der Lernenden als auch insbesondere der Lehrenden und Studierenden rücken immer mehr in den Forschungsfokus, denn Fachsprache darf nicht als unreflektierte Grundvoraussetzung angenommen werden, die en passant erworben wird (Fenkart et al., 2010). Aktuelle Forschungsarbeiten zeigen zum Beispiel einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Fachwissen und dem Wissen über die Vermittlung der Fachsprache der Lehrenden (Mönch & Markic, 2022).

Auch die Vermittlung der chemischen Fachsprache im Schulunterricht stellt die Chemiedidaktik vor enorme Herausforderungen, denn die Naturwissenschaft polarisiert – sie begeistert, verstört, fasziniert und demotiviert. Der Chemieunterricht wird oft als mühevolleres Auswendiglernen von Formeln, Gleichungen und unverstandenen Texteinheiten dargestellt. Lernende aus bildungsnahen Gesellschaftsschichten scheinen dem „schwierigen“ Unterrichtsfach mit ähnlich großen Herausforderungen zu begegnen wie Lernende aus bildungsfernen.

Die Chemie als Wissenschaft arbeitet häufig mit Modellen; eine Tatsache, die ihre Darstellungsmöglichkeiten stärker einschränkt als jene der Geografie, der Physik oder der Biologie. Die Förderung und die Schwierigkeiten des Modellverständnisses in den Naturwissenschaften werden in der fachdidaktischen Literatur gut beschrieben (Göhner & Krell, 2021; Przywarra & Risch, 2021). Der hohe Anteil an theoretischen, an Modellen orientierten Inhalten im Chemieunterricht birgt für Lernende hohe Verständnisprobleme, zumal im Regelunterricht zwischen theoretischen Modell- bzw. Konzeptebenen oftmals für Lernende wenig nachvollziehbar gewechselt wird (Johnstone, 1991, 2000; Mahaffy, 2006; Taber, 2013). Die hohe fachliche Informationsdichte in Kombination mit dem chemiespezifischen Wechsel der Konzeptebenen lässt Lernende häufig mit unlösbaren kognitiven Herausforderungen zurück.

Gerade im vorwiegend mündlich geprägten Fach Chemie führen neben einer hohen Informationsdichte auch morphologische und syntaktische Besonderheiten der Fachsprache zu Missverständnissen. Der Erwerb einer soliden Fachsprache im Chemieunterricht ist somit häufig mit Begriffsnot, unpräzisen Vorstellungen von Fachbegriffen und sprachlichen Fehlern verbunden (Parchmann & Bernholt, 2013). Es gilt, den Lernenden Sprechanlässe zu bieten, damit sie die neue Fachsprache praktizieren und so aktiv mit ihr umgehen können (Aleksov et al., 2021).

Der österreichische Lehrplan für das Fach Chemie am Gymnasium und Realgymnasium sieht als Bildungs- und Lehraufgabe neben den Bereichen Natur und Technik, Mensch und Gesellschaft, Gesundheit und Bewegung auch Sprache und Kommunikation vor (BMBWF, 2022). Der Bildungsbereich Sprache und Kommunikation wird beschrieben als Erlernen der Fach- bzw. der Symbolsprache, des präzisen Sprachgebrauchs und des Argumentationsverhaltens bei Planung, Beobachtung, Beschreibung und Protokollierung chemischer Vorgänge (ebd., S. 91–92). Die Vermittlung der Fachsprache im Unterricht ist somit rechtlich verankert. Die österreichischen Kompetenzmodelle in den naturwissenschaftlichen Fächern zielen mit den definierten Inhalts-, Anforderungs- und Handlungsdimensionen ebenfalls auf differenzierte sprachliche Strukturen und Operatoren ab. Der Erwerb der Fachsprache stellt somit kein separates didaktisches Ziel, sondern dezidiert einen Teil des Lehrplans dar. Diese Forderung bedingt, dass die Sprachhandlungen der einzelnen Handlungs- bzw. Anforderungsdimensionen von Lehrpersonen in den Unterricht konstant eingebaut und in der Folge eingefordert werden sollten. Es ist festzuhalten, dass eine Sprachbewusstheit<sup>1</sup> im Fach rechtlich vorgesehen und im Unterricht unbedingt zu positionieren ist, da naturwissenschaftliche Bildung auch als Grundlage beruflicher und gesellschaftlicher Teilhabe dient (Thürmann et al., 2017). In den Naturwissenschaften wird heute klar sprachbewusst gehandelt, insbesondere was das Schreiben und Lesen anlangt. Stiefkind ist und bleibt das Sprechen der Lernenden im Fachunterricht. Die vorliegende Arbeit liefert eine detaillierte (fach-)sprachliche Diagnose von Schwierigkeiten im chemieunterrichtlichen Diskurs aus Fachperspektive ab und stellt ein de-

---

<sup>1</sup> Der Begriff Sprachbewusstheit wird in der vorliegenden Arbeit synonym für Begriffe wie Sprachsensibilität und Sprachaufmerksamkeit verwendet.

skriptives Instrument zur Diagnose mündlicher (Fach-)Sprachprobleme bereit. Diese Arbeit präsentiert Ergebnisse hinsichtlich der sprachlichen bzw. fachsprachlichen Schwierigkeiten in Redebeiträgen von Lernenden im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. In der Folge soll diese (fach-)sprachliche Bestandsaufnahme einen differenzierten Aufbau des Chemieunterrichts und eine Förderung des Einsatzes der mündlichen chemischen Fachsprache im Schulkontext erlauben.

Nach der Vorstellung des Forschungsdesiderats und der Forschungsfragen in Kapitel 2 erlaubt Kapitel 3 einen Einblick in das Lernen als Funktion von Sprache. Der Fokus wird in diesem Kapitel auf unterschätzte sprachliche Stolpersteine gelegt, die unklaren Verweisformen in Redebeiträgen („*Sie binden sich mit den anderen*“), also jene Verweise, die keine genaue Referenz auf ein fachliches Bezugswort zulassen. Das Kapitel beleuchtet auch das Denkmuster der Anthropomorphismen im Chemieunterricht („*Beide haben den Sofazustand*“). Beide sprachlichen Formate bergen große Verständnisprobleme zwischen den Gesprächsbeteiligten. In weiterer Folge werden in Kapitel 3 die Eckpfeiler der chemischen Sprache mit den Herausforderungen von Symbol- und Fachsprache sowie die Herausforderung des chemiespezifischen Wechsels zwischen allen Konzeptebenen („*Ist das mit Chlor und Wasserstoff und da sind so Punkte?*“) und auch des Elementbegriffs erarbeitet. Außerdem widmet sich Kapitel 3 der mündlichen Fachkommunikation im Allgemeinen bzw. im Fach Chemie im Detail. Besonderes Augenmerk wird auf den Parameter Zeit bzw. *wait time* gelegt, die Pausenzeit zwischen Äußerungen von Lehrenden und Lernenden. In Kapitel 4 werden die theoretischen Grundlagen zum Forschungsdesign behandelt. Kapitel 5 präsentiert das Forschungsdesign und die zugrunde liegenden Gütekriterien der Untersuchung und widmet sich der Datenerhebung, das heißt der Bestandsaufnahme (fach-)sprachlicher Schwierigkeiten von Lernenden in ihren chemieunterrichtlichen Redebeiträgen. Die Ergebnisse der Studie werden in Kapitel 6 ausgewertet und in verschiedenen Formaten dargestellt. Basierend auf den erhaltenen Erkenntnissen werden die akquirierten Daten in Kapitel 7 im Detail diskutiert und ihre Bedeutung hinsichtlich der Vermittlung der chemischen Fachsprache wird reflektiert. Laut vorliegenden Untersuchungen spielen unklare Verweiswörter, problematische Wechsel zwischen den chemischen Konzeptebenen wie auch ein ambivalenter Einsatz des Begriffs *Element* eine große Rolle im mündlichen Diskurs von Lernenden.

Schließlich fasst Kapitel 8 die vorliegende Arbeit zusammen und bietet im Anschluss einen Ausblick auf eine Förderung in den verbalen Äußerungen von Lernenden sowohl im schulischen Kontext als auch in der Professionalisierung von Lehrpersonen.

## 2 Stand der Forschung und Forschungsfragen

Die Rolle von mündlicher Kommunikation bzw. Diskursfähigkeit im Fachunterricht darf nicht unterschätzt werden (Kleinschmidt-Schinke, 2018; Parchmann und Bernholt, 2013), zumal viele Fächer oft stark mündlich geprägt sind. Gerade das individuelle Artikulieren von Fachinhalten hat hohes Potenzial, Klarheit über das eigene fachliche Denken zu schaffen (Franke-Braun, 2008). Das „laute Denken“ repräsentiert folglich ein wertvolles Format einer kognitiven Hilfestellung, mit dem fachliche und fachsprachliche Schwierigkeiten sichtbar gemacht werden können. Auf sprachlichen Missverständnissen basierende Verständnisprobleme zwischen Lehrenden und Lernenden sind in den naturwissenschaftlichen Fächern, insbesondere im Chemieunterricht, bekannt (Becker und Kemper, 2021, 2018). Die (fach-)sprachlichen Hürden bleiben jedoch oft unreflektiert; die fachinhaltliche Richtigkeit wird meist höher als die fachsprachliche Ausdrucksweise bewertet (Tajmel, 2013). Mit der Qualität der Fachsprache sinkt jedoch auch die Qualität des Fachinhalts, da derselbe nicht adäquat artikuliert werden kann. Häufig werden im Unterrichtsgespräch zusätzlich noch Überformungen durch die Lehrperson angeboten, die den Lernenden dadurch die Möglichkeit verwehrt, ihre artikulierten Versatzstücke autonom auszubauen.

### 2.1 Stand der Forschung

In der Literatur ist gut dokumentiert, dass Sprache und Denken in engem Zusammenhang stehen und das fachliche Lernen maßgeblich beeinflussen (Aleksov et al., 2021; Becker und Kemper, 2021; Behling et al., 2019; Chi et al., 1994; Merzyn, 1998, 2008; Renkl, 1997a; Vygotskij und Métraux, 2017; Wuttke, 2005). Fachsprachliche Bildung und Förderung können als zentrale Dogmen der Schulentwicklung angesehen werden. Sie müssen kontinuierlich und systematisch beforscht, begleitet und gefördert werden (Schneider et al., 2022).

Die Sprachhandlung *Sprechen* wird jedoch in den durchaus mündlich dominierten naturwissenschaftlichen Schulfächern immer noch eher defizitär behandelt. Dabei ist es gerade die Qualität von Redebeiträgen von Lernenden, die im Chemieunterricht nachdenklich stimmt: Einer Studie zufolge bestehen Antworten nämlich häufig aus weniger als drei Wörtern, die zudem kaum Rückschlüsse auf den Fachinhalt zulassen.

sen (Ahlers et al., 2009). Der Erwerb der Fachsprache kann mit dem Erlernen einer Fremdsprache verglichen werden (Stäudel et al., 2008), insbesondere wenn man die Menge der neuen Begriffe im Fachunterricht betrachtet. Es ist somit nachvollziehbar, dass bei mangelhaftem Fachsprachgebrauch das fachliche Verständnis im Unterricht nicht angemessen zum Ausdruck gebracht werden kann bzw. keine Rückschlüsse darauf zugelassen werden. Schulbücher der Sekundarstufe können bis zu 2500 Fachbegriffe beinhalten, wobei die Hälfte der Fachbegriffe nur einmal erwähnt wird, was den Sinn derselben infrage stellt (Merzlyn, 1998).

Der Konnex zwischen Lernerfolg und erfolgreicher Kommunikation wird in einigen Studien zum Thema Verbalisieren durchaus belegt (Bleicher et al., 2003; M. T. Chi et al., 1994; M. T. H. Chi et al., 1989; Heitmann et al., 2017; Knobloch et al., 2011, 2013; Renkl, 1997b; Studhalter et al., 2021). Kapitel 3.3 widmet sich ausschließlich der mündlichen Kommunikation und der aktuellen Forschungslage. Es ist somit nachvollziehbar, dass mündliche Sprachhandlungen von Lernenden zu Recht in den Forschungsfokus gerückt werden und qualitative Studien zur Fachkommunikation notwendig sind.

Auch wenn ein enger Zusammenhang zwischen inhaltlicher Qualität des Gesprochenen und erfolgreichem Lernen im Chemieunterricht schon lange vermutet wird, liegen kaum Untersuchungen dazu vor (Knobloch et al., 2011). Vor diesem Hintergrund wäre es notwendig, den Fokus verstärkt auf die mündliche (Fach-)Sprachentwicklung zu legen. Die Sprachprobleme müssen untersucht und identifizierte Defizite wie zum Beispiel der dominante Redeanteil von Lehrenden im Chemieunterricht verringert werden (Streller et al., 2019). Es gilt, Gesprächsmuster im Unterricht zu beschreiben und zu hinterfragen, damit (fach-)sprachliche Defizite entlarvt werden (ebd.). Die produktive Sprachhandlung Sprechen von Lernenden im Chemieunterricht muss demnach stärker positioniert und reflektiert werden (Streller et al., 2019); denn erst wenn Beobachtungen und Ideen von Lernenden adressaten- und fachgerecht artikuliert und diskutiert werden können, wird Information zu Wissen und nachhaltiges Lernen stattfinden. Dies gilt nicht nur für sekundäre, sondern auch für tertiäre Bildungseinrichtungen. In den tertiären Bildungseinrichtungen bzw. in der Lehrkräfteausbildung ist die Sprache durchaus in den Forschungsfokus gerückt; denn um Lernende beim Erwerb der Fachsprache unterstützen zu können, müssen Lehrende dementsprechend ausgebildet werden. Zum Beispiel wird die Förderung des so-

nannten *Pedagogical Scientific Language Knowledge (PSLK)* von Lehrkräften in der Arbeitsgruppe Markic beschrieben (Mönch & Markic, 2022). Die Daten der Studien zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen dem Fachwissen der Lehrenden und ihrem Wissen über die Vermittlung der Fachsprache erkennbar ist (ebd.).

Wie in einer Fremdsprache ist es auch bei der Fachsprache notwendig, Gedanken mit neuen Fachbegriffen autonom auszuformulieren und Satz für Satz zu neuem Wissen zu formen (Stäudel et al., 2008). Dabei sollten die Betrachtungsebenen von allen Gesprächsbeteiligten mitgedacht werden (Parchmann & Bernholt, 2013). Eine systematische Untersuchung bildungssprachlicher wie auch fachsprachlicher Anforderungen der mündlichen Kommunikation im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I wurde bisher nicht ausreichend durchgeführt und deskriptive Instrumente zur Diagnose fehlen (Knobloch et al., 2013; Pineker-Fischer, 2017). Auch Studien zu bildungssprachlichen sowie fachtypischen Fehlern und Schwierigkeiten im mündlichen Chemieunterricht bleiben für den deutschsprachigen Raum ein Desiderat. Studien zu Erkenntnissen der Sprachhandlung *Sprechen* im Unterricht findet man vor allem im englischsprachigen Raum (Bleicher et al., 2003; Studhalter et al., 2021).

Mündliche Kommunikation ist im naturwissenschaftlichen Unterricht defizitär; dies gilt für Gespräche zwischen Lernenden genauso wie zwischen Lehrpersonen und Lernenden. Qualitative Untersuchungen zu Kommunikationsverläufen sind jedoch eher Einzelfälle. Darin konnte gezeigt werden, dass Aufgaben mit gestuften Lernhilfen die Fachkommunikation anregen (Franke-Braun, 2008). Außerdem wurde belegt, dass der Lernerfolg gesteigert wird, wenn die Qualität der fachinhaltlichen Aussagen verbessert wird (Knobloch et al., 2013). Zum Beispiel wurde in zwei Studien die Kommunikation von Lernenden im Chemieunterricht untersucht. Fachinhaltliche Kommunikationsmerkmale von Kleingruppen wurden dabei beforscht und einer Reanalyse unterzogen (Knobloch et al., 2011, 2013). Dabei wurde 2011 ein Instrument zur Analyse der Schüler-Schüler-Kommunikation beschrieben und die fachinhaltliche Qualität von Äußerungen der Lernenden vorgestellt. Die Kategorien waren „*Organisatorische Aussagen*“, *Fragen an die Versuchsleiter*, *Sonstiges* und *nicht kodierbar*. Es konnte auch hier belegt werden, dass eine hohe Kommunikationsqualität einen höheren Lernerfolg mit sich bringt. Eine tiefer gehende, detaillierte qualitative Analyse der Redebeiträge aus chemischer Fachperspektive liegt zurzeit aber noch nicht vor. Eine

reine „richtig/falsch“-Zuordnung bietet lediglich eine quantitative und keine weitere qualitative Analyse der inhaltlichen Aussagen (Knobloch et al., 2013) und nur wenige Arbeiten wie zum Beispiel die von Franke-Braun unterscheiden inhaltliche Aussagen weiter (Franke-Braun, 2008).

Problematisch bei Äußerungen von Lernenden ist auch die Kohäsion, also der formale Zusammenhang eines Textes, der zum Beispiel durch Pronomen, Adverbien oder andere Platzhalter (Verweiswörter für Vor- und Rückverweise) erreicht wird. Ein Hinterfragen solcher Verweiswörter sollte im Idealfall stattfinden (Parchmann & Bernholt, 2013). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass fachsprachlich defizitäre Formulierungen fachlich problematische Vorstellungen mit sich bringen können. Typische fehlerhafte Sprechweisen von Lernenden müssen daher reflektiert und fachsprachensensibel überformt werden (Sieve, 2021).

## **2.2 Forschungsfragen**

Vor dem Hintergrund, dass Kommunikation als autonomer Kompetenzbereich im österreichischen Lehrplan definiert ist, erhärtet sich das Forschungsdesiderat dieser Arbeit. Da Sprachhandlungen wie das Lesen und das Schreiben heute klar in der aktuellen Fachdidaktik verortet sind (Portmann-Tselikas & Schmörlzer-Eibinger, 2008; Schmörlzer-Eibinger et al., 2013; Schmörlzer-Eibinger & Langer, 2010), widmet sich die vorliegende Arbeit den mündlichen Äußerungen von Lernenden zu definierten Stimulationsfragen (vgl. Kapitel 5.2). Die explizite Beforschung der chemischen Fachsprache wie zum Beispiel im Bereich der Fehlvorstellungen (Barke et al., 2019) ist heute in der Literatur gut sichtbar; gleichzeitig gibt es keine Forschung zu genauen fachsprachlichen Analysen von Segmenten in den einzelnen Redebeiträgen bzw. eine Dokumentation problematischer Bezüge zwischen chemischem Fach- und darauffolgendem Bezugswort (Rückverweisen) in den Redebeiträgen. Die Diagnose der chemischen Fachsprache nimmt also eine immer wichtigere Rolle ein (Tolsdorf & Markic, 2018). Interessant ist nämlich, wie man die fachliche Sprachverwendung – insbesondere den inflationären Einsatz von Pronomen im Schulalltag – beschreiben kann und was sich aus einer Bestandsaufnahme auf Wort-, Satz- und Zeichenebene für die fachliche Qualität der Redebeiträge ergibt (Romstadt et al., 2019). Erst nach einer solchen detaillierten Bestandsaufnahme der Schwierigkeiten von Lernenden im

chemieunterrichtlichen Diskurs kann im nächsten Schritt eine qualitätsvolle, sprachbewusste Förderung im mündlich geprägten Chemieunterricht stattfinden. Der enge Zusammenhang zwischen Verbalisierung und dem Wissenserwerb von Lernenden wird in der vorliegenden Arbeit vertieft betrachtet, indem die Qualität der Kommunikationsmerkmale der Lernenden im chemieunterrichtlichen Gespräch mit der Lehrperson auf semantischer Ebene untersucht wird. Somit stellt die vorliegende Arbeit eine deskriptive, qualitative Analyse von Redebeiträgen von Lernenden im chemieunterrichtlichen Diskurs dar, die auf fachsprachlicher bzw. semantischer Ebene Äußerungen von Lernenden im ersten Lernjahr mithilfe eines Kategoriensystems analysiert, um eine genaue Bestandsaufnahme von Lernschwierigkeiten im mündlichen Diskurs abzubilden.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Forschung wurden die im Folgenden dargestellten Forschungsfragen ausformuliert. Sie basieren auf jenen empirischen Annahmen, die die Autorin während ihrer beruflichen Laufbahn als Chemielehrerin in österreichischen Gymnasien in über zwanzig Jahren Lehrtätigkeit beobachtet hat und die in dieser Arbeit wissenschaftlich belegt werden.

1. Welche sprachlichen Strategien wenden Lernende in ihren Redebeiträgen an?
2. Welche (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten können dabei differenziert werden?
3. Wie oft treten diese Merkmale innerhalb der Population auf?

Als Strategien werden in diesem Zusammenhang mögliche fachsprachliche oder sprachliche Formulierungen im Redebeitrag der Lernenden verstanden, deren Einsatz einen Konnex zwischen Fachsprache und Fachinhalt erschweren. Als Beispiel seien hier niederschwellige Formulierungen oder Verweiswörter genannt. Der (un-)bewusste Einsatz solcher semantischen Bausteine von Lernenden kann einen klaren Rückschluss auf den intendierten Fachinhalt erschweren oder sogar unmöglich machen.

### **3 Spannungsfeld Alltags-, Bildungs- und Fachsprache**

Umfassend sprachhandlungsfähig zu sein bedeutet, dass Lernende sich mithilfe von allen produktiven und rezeptiven Sprachhandlungen wie Schreiben, Sprechen, Lesen und Zuhören auf Wort-, Satz- und Textebene adressaten- und sachgerecht bewegen können (Tajmel & Hägi-Mead, 2017). Damit nämlich aus Information Wissen entstehen kann, müssen Informationsbausteine durch richtige Anwendung von Alltags-, Bildungs- und Fachsprache sorgfältig zusammengebaut werden. Die Sprache als Transportmedium für bestehendes Wissen ist dabei unabdingbar, damit Lernende in einem Wissensgebiet bereits Bekanntes abrufen können (Bernholt, 2021). Der Zugang zu diesem Wissen verändert sich im Hinblick auf altersspezifische Denk- und Entwicklungsstufen. Ab etwa zwölf Jahren wird dabei in der Entwicklungspsychologie von der sogenannten formal-operationalen Entwicklungsstufe gesprochen, die eine Steigerung der Abstraktionsfähigkeit mit sich bringt (Piaget et al., 1979). Nach der Entwicklungstheorie von Piaget ermöglicht eine fortschreitende Anpassung der Lernenden an ihre schulischen Anforderungen ein Nachvollziehen naturwissenschaftlicher Phänomene (ebd.). Das Verstehen von naturwissenschaftlichen Phänomenen sollte demnach mit dem Erwerb der altersadäquaten (Fach-)Sprache gelingen. Lernerfolg kann sich also einstellen, wenn die Verbindung von Inhalt und Sprache bewältigt werden kann (Lange, 2012).

Eine entscheidende Bedingung zum erfolgreichen Lernen ist das Aktivieren von Vorwissen (Leisen, 2013). Vorwissen kann kognitives Wissen, Erfahrungen oder auch Gefühle beinhalten und dient als Anknüpfungspunkt für neues Wissen. Ein wirksamer Unterricht gibt den Lernenden Gelegenheit, diese vorhandenen Wissensbestände mit neuen Inhalten zu vernetzen. Eine Aktivierung des Vorwissens kann die Lernmotivation steigern. Das Vorwissen von Lernenden und dessen Aktivierung (ebd.) trägt demnach maßgeblich zum Lernerfolg bei.

#### **3.1 Sprachökonomie oder Stolperstein?**

Lernende bewegen sich konstant in einem Spannungsfeld zwischen vielen Registern. Die dominanten Sprachen, die dabei zum Tragen kommen, sind die Alltags-, die Bildungs- und die Fachsprache. Im Folgenden werden alle drei Register erläutert.

Unter Alltagssprache versteht man nach Hoffmann „die Sprache, die in Diskursen der alltäglichen Lebenspraxis gesprochen und zur unproblematischen Verständigung bei geteiltem Hintergrundwissen jederzeit verwendet werden kann“ (Hoffmann, 2019, S. 1). Sie ist die Sprache, die im alltäglichen Leben zum Einsatz kommt und von Kindern häufig als Erstsprache akquiriert wird (ebd.). Im Sinne von Jim Cummins kann die alltägliche Kommunikationskompetenz als *basic interpersonal communicative skills* mit dem Akronym BICS definiert werden (Cummins, 1979). Sie ist charakteristisch für die Interaktion zwischen sich bekannten Personen, unterliegt regionalen und sozialen Eigenheiten (ebd.) und bildet dementsprechende Varietäten aus.

Im Gegensatz zur Alltagssprache definiert sich die Bildungssprache durch Ich-Distanzierung, Objektivität, Situationsungebundenheit, konzeptionelle Schriftlichkeit, hohe Informationsdichte, Nominalisierungen, Komposita und Passivkonstruktionen (Leisen, 2013; Ortner et al., 2009). Bildungssprachliche Sprachkompetenzen werden nach Cummins auch unter *cognitive academic language proficiency* subsumiert; sie korrelieren mit akademischen und kognitiven Leistungen (Cummins, 1979). Bildungssprache kann als formelles Sprachregister verstanden werden, das auch außerhalb des Bildungskontextes zum Einsatz kommt.

Die sprachlichen und strukturellen Merkmale der Alltagssprache werden unter dem Begriff *konzeptionelle Mündlichkeit*, die der Bildungssprache unter *konzeptioneller Schriftlichkeit* zusammengefasst (Leisen, 2013; Ortner et al., 2009). Die Begriffe lassen sich zusätzlich in die nach Koch und Österreicher definierte Dichotomie von „Sprache der Nähe“ (Alltagssprache, Dialekt) und „Sprache der Distanz“ (Bildungs-, Fach-, Schulsprache) eingliedern (Koch & Oesterreicher, 1986). Ausgewählte linguistische Unterschiede zwischen Alltagssprache (*konzeptionelle Mündlichkeit*) und Bildungssprache (*konzeptionelle Schriftlichkeit*) nach Leisen (Leisen, 2022) sind in Tabelle 1 dargelegt.

Tabelle 1: Merkmale der Alltags- und Bildungssprache (Leisen, 2022, S. 17)

<i>Merkmale Alltagssprache</i>	<i>Merkmale Bildungssprache</i>
Spontaner Sprachgebrauch	Planvoller Sprachgebrauch
Situationsgebunden	Situationsungebunden
Kontextualisiert	Kontextreduziert
Subjektiv und emotional	Objektiv und neutral
Einfache Sprachroutinen	Formgebundene Sprache
Geringer kognitiver Aufwand	Hoher kognitiver Aufwand
Oft unpräzise und unstrukturiert	Prägnant und strukturiert
Fehlertolerant	Nicht fehlertolerant

Verwandte Konzepte der Bildungssprache wie die Schul- oder die Fachsprache können durch spezifische Sprachelemente bzw. eine begrenzte Gruppe (Fachleute, Schulpersonal) von der Bildungssprache differenziert werden. Beispiele für spezifische Sprachelemente sind fachspezifische Begriffe und Normierungen in Morphosyntax und Lexik sowie der Struktur in Texten. Weitere Ausführungen zur Fachsprache sind in Kapitel 3.2 dargelegt.

### 3.1.1 Verweisformen

Göpferich verweist auf die Parameter von naturwissenschaftlich-technischen Textsorten wie hohe Präzision, Differenziertheit und Sprachökonomie (Göpferich, 1998). Diese Sprachökonomie findet sich in den für die Bildungs- und Fachsprache typischen Rück- und Vorverweisen als Kohäsionsmittel. Diese Kohäsionsmittel sorgen in der Regel für eine stringente Textverknüpfung (vgl. Tabelle 2) und lokale Kohärenz (Leisen, 2022). Die vermehrte Vernetzung von Gedanken und Information durch stringente Vor- und Rückverweise ist ein Charakteristikum von Fachsprache (Rincke & Markic, 2018).

Tabelle 2: Beispiele für stringente Rückverweise im alltäglichen und chemischen Kontext

<i>Alltagskontext</i>	<i>Chemischer Kontext</i>
<b>Leo</b> geht ins Bett. <b>Er</b> fühlt sich müde.	Das <b>Calciumatom</b> hat 20 Protonen im Kern. <b>Es</b> besitzt auch 20 Neutronen.

Verweisformen (auch Kohäsionsmittel, Zeigemittel oder Deiktika genannt) sind Formulierungshilfen und stellen die Verbindung mit einem Bezugselement her. Verweisformen nehmen Bezug auf eine andere Stelle im gleichen Text, meist auf ein Wort oder eine Phrase (Linke et al., 2004). Verweiswörter sind zum Beispiel Pronomen (z. B. sie, euer, dieser, andere) oder Adverbien (z. B. dort, heute, irgendwie). Relevant ist die Verweisrichtung, in der der jeweilige Kontext durch Verknüpfung der Verweisform mit dem Bezugselement entweder anaphorisch (sprachlich zurückweisend) oder kataphorisch (sprachlich vorausweisend) hergestellt wird (ebd.). Diese Verweise werden dementsprechend Vor- bzw. Vorwärtsverweise und Rück- bzw. Rückwärtsverweise genannt. Vorverweise antizipieren Inhalte, die erst an einer im Text chronologisch später erwähnten Stelle formuliert werden (Völz, 2016). Im Gegensatz zu Vorverweisen sind Rückverweise Sprachelemente, die auf bereits gegebene Information oder Bezugselemente referieren (ebd.).

Verweiswörter im Unterrichtsgeschehen sind insbesondere in kontextgebundenen Unterrichtssituationen verortet, wie zum Beispiel beim chemischen Experimentieren. Verweiswörter machen hier eine klare Benennung von Gegenständen oder Materialien überflüssig (Pineker-Fischer, 2017), indem Verweiswörter wie „der“, „das“ oder „diese“ verwendet werden. Das Artikulieren mit Verweiswörtern ist Fachleuten oft nicht bewusst. Es wird davon ausgegangen, dass Sendende und Empfangende mit dem Verweiswort auf den gleichen Sachverhalt referieren. Der unreflektierte Einsatz von Verweiswörtern kann jedoch zu missverständlichen Formulierungen führen (Romstadt et al., 2019), da die Gesprächsbeteiligten mit dem Verweiswort nicht automatisch denselben Sachverhalt (z. B. Fachbegriff) meinen müssen, wie in Spalte 1 von Tabelle 3 gezeigt wird.

Tabelle 3: Verweiswörter im chemischen Kontext (Rautenstrauch, 2017, S. 26)

<i>Alltagssprache</i>	<i>Fachsprache</i>
„Tu mal <b>so viel davon</b> rein!“	„Gib 25 ml der 1-molaren Salzsäurelösung in einen 100-ml-Erlenmeyerkolben.“

Alltagssprachlich formulierte Versatzstücke mit einer hohen Dichte an Verweiswörtern können große Verständnisprobleme erzeugen, wenn die Verweiswörter nicht hinterfragt werden. Auch im nicht experimentellen Unterricht können Verweiswörter die sprachliche Kohärenz gefährden. Dies zeigen Tafelbilder, deren verdichtete Unterrichtsergebnisse für Lernende oft mental schwer zu rekonstruieren sind, gerade weil sprachliche Hilfestellungen fehlen (Gebhard et al., 2017). Als Beispiel sei das Erlernen von Bindungsmodellen im Chemieunterricht erwähnt, wo der Einsatz von Symbolen, ikonischen Darstellungen und diskontinuierlichen Texten als zusätzlicher, kognitiv anspruchsvoller Kontext zu nennen ist und Verweiswörter durchaus problematische Verständnisprobleme mit sich bringen können (vgl. Kapitel 7.1).

Gemäß dem kognitiven Anspruch der Bildungs- und Fachsprache findet sich auch in Schulbuchtexten eine hohe Dichte an pronominalen Bezügen auf Textebene (Stäudel et al., 2008), die problematische Kohärenzen (Zusammenhang zwischen aufeinanderfolgenden Sätzen) zur Folge haben (Schroeter-Brauss et al., 2018). Der folgende Ausschnitt (vgl. Abbildung 1) gibt ein Beispiel für einen naturwissenschaftlichen Text mit einer hohen Dichte an Verweiselementen (Leisen, 2017), der für Lernende mental schwer zu rekonstruieren ist. Zum Beispiel kann in Zeile 1 das Verweiswort „ihr“ eine Referenz auf die „Eingangstür“ oder die „Nase“ sein.

1 Die Nase ist viel mehr als nur eine Eingangstür für unsere Atemluft. In **ihr** wird  
2 kalte Luft erwärmt, befeuchtet und von Staub und Bakterien gereinigt, bevor  
3 **sie** in die Lunge gelangt.  
4 Dazu streicht **sie** an gut durchbluteten Schleimhäuten vorbei, auf **denen** viele  
5 feine Flimmerhärchen wachsen. **Die** filtern die Staubteilchen und Bakterien  
6 heraus und schieben **sie** zum Rachen, wo **sie** mit Speichel verschluckt werden.

Abbildung 1: Fachtextausschnitt mit einer hohen Dichte an Rückverweisen (Leisen, 2017, S. 44)

Als Beispiel sei hier auch ein Schulbuchtext aus dem Bereich der chemischen Bindungsmodelle (Magyar et al., 2020) angeführt (vgl. Abbildung 2). In diesem Textausschnitt sind Verweiswörter nicht klar in ihrer Referenz. In Zeile 2 sind zwei Verweiswörter zu finden, „sie“ und „dabei“. Das Pronomen „sie“ kann für Lernende durchaus auch auf das Wort „Nichtmetall-Atome“ oder „Moleküle“ referieren. Unklar ist auch das Adverb „dabei“. Schließlich ist das Pronomen „sie“ in Zeile 3 ebenso zweideutig hinsichtlich des Bezugswortes. Es können „Moleküle“, „Einfach-, Doppel- oder Dreifachbindungen“ gemeint sein.

1 „(...) Der Kohlenstoff besteht aus Nichtmetall-Atomen, die kettenförmige  
2 und ringförmige Moleküle bilden können. **Sie** bilden **dabei** neben Einfach-  
3 auch Doppel- und Dreifachbindungen aus. Ebenso bilden **sie** mit vielen  
4 anderen Atomen stabile Bindungen.“

Abbildung 2: Textauszug aus einem Chemiebuch mit Fokus auf Verweiswörter (Magyar et al., 2020, S. 34)

### 3.1.2 Anthropomorphismen

Im kindlichen Denken zeigt sich der Anthropomorphismus („Vermenschlichung“) insofern, als dass unbelebte Gegenstände, Tiere, Pflanzen und Objekte vermenschlicht bzw. mit menschlichen Attributen verknüpft werden (Gebhard, 1994). Es werden menschliche Eigenschaften auf Objekte oder Tiere transferiert (ebd.). „Das Holz will nicht brennen“ oder „Rost zerfrisst die Autokarosserie“ (Barke, 2006, S. 36) sind Beispiele zur Vermenschlichung abstrakter Formulierungen.

Diese Sprechweisen sind in der Literatur gut dokumentiert (Barke et al., 2011; Lück, 2001; Püttschneider & Lück, 2004).

Gerade im Anfangsunterricht des Faches Chemie präferieren Lernende eine solche bildhafte und animistische Ausdrucksweise, um fachliche Inhalte für sich verständlich zu formulieren (Barke, 2006). Püttschneider und Lück bewerten den Einsatz von Animismen im Chemieunterricht positiv, da ein nachhaltiger Motivationseffekt auf den Lernprozess durch einen basalen Modellcharakter eintritt (Püttschneider & Lück, 2004). Neben der Elementarisierung bzw. der didaktischen Reduktion spielt die Verwendung von animistischen bzw. anthropomorphen Ausdrucksweisen eine große affektive Rolle im Lernprozess (ebd.), wenngleich sie fachliche Verständnisprobleme im Vermittlungsprozess mit sich bringen (vgl. Kapitel 6.4 bzw. 7.2). Anthropomorphismen können dabei hausgemachte Fehlvorstellungen durchaus begünstigen (Barke, 2006). Gerade bei digitalen visuellen Darstellungen wie Erklärvideos wird häufig mit simplifizierten Grafiken gearbeitet, was solche Fehlvorstellungen provoziert, wie Harmer und Groß (2022) belegen konnten. Der reflektierte Einsatz von Erklärvideos bietet dabei durchaus die Chance, gemeinsam mit den Lernenden die Fach- und Alltagssprache aktiv zu differenzieren (ebd.). Anthropomorphismen spielen in dieser Arbeit eine marginale Rolle und sind an dieser Stelle lediglich kurz beschrieben.

## **3.2 Die Fachsprache**

Fachsprache dient zur Weitergabe von Fachinformation und zur Artikulation von Lernergebnissen (Gebhard et al., 2017). Ihr sach- und adressatengerechtes Einsetzen bestimmt maßgeblich den Lernerfolg (Özcan, 2013). Ein fächerübergreifender Konsens zum Terminus *Fachsprache* ist nicht klar festgelegt (Härtig et al., 2015). Grundsätzlich kann die Fachsprache als Voraussetzung für eine konstruktive Verständigung innerhalb des Faches verstanden werden (Rincke, 2010). Die Fachsprache bezieht sich auf definierte Gegenstandsbereiche, die durch bestimmte Merkmale beschrieben werden können (Rincke & Markic, 2018). Schließlich kann die Fachsprache als funktionale Varietät der Bildungssprache angesehen und somit den Varietätsklassen Funktiolekt bzw. Soziolekt zugeordnet werden (ebd.).

Die Fachsprache zeichnet sich maßgeblich durch einen deskriptiven und analytischen Aufbau aus. Die Funktionen der Fachsprache sind jener der Bildungssprache ähnlich (Carnevale & Wojnesitz, 2014). Die Parallelen zwischen ihnen (Morek & Heller, 2012) sind in Tabelle 4 abgebildet. Die epistemische Funktion der Fach- und Bildungssprache bildet den starken Konnex von Denken und Sprache ab und die sozialsymbolische Funktion wird zum Beispiel über fachliche Autorität und Selbstpositionierung sichtbar (Leisen, 2022).

Tabelle 4: Funktionen von Fach- und Bildungssprache (Morek & Heller, 2012, S. 6)

<i>Funktion</i>	<i>Fach- und Bildungssprache als</i>
Kommunikativ	Medium von Wissenstransfer
Epistemisch	Werkzeug des Denkens und Erkennens
Sozialsymbolisch	Eintritts- und Visitenkarte

Die Fachsprache ist Instrument und Lernobjekt in gleichem Maße und der schulische Lernerfolg hängt von der Fachsprache bzw. der daraus resultierenden Sprachkompetenz im Unterricht ab. Diese Tatsache ist in der Fachliteratur didaktisch gut beschrieben und empirisch belegt (z.B. (Aleksov et al., 2021; Özcan, 2013; Parchmann & Bernholt, 2013; Rincke, 2010; Rincke & Markic, 2018, 2018; Stäudel et al., 2008). Das fachliche Verstehen korreliert mit der adäquaten Verwendung von Fachtermini (Rincke, 2010); somit ist eine relevante Aufgabe des Fachunterrichts, eine angemessene Verwendung der Fachsprache einzufordern (Voß & Wagner, 2023). Darüber hinaus wird die Fachsprache durch eine Vielfalt an bildungssprachlichen wie auch fachspezifischen Merkmalen gekennzeichnet. Dazu gehören unpersönliche Passivformulierungen („es wird aufgebaut“), Nominalisierungen („das Lösen von ...“), fachspezifische Wendungen („Natrium reagiert mit Wasser zu ...“) oder auch spezielle Textsorten (Diagramm, Versuchsprotokoll). Diese Merkmale verantworten einen Großteil der Sprachhürden im Fachunterricht. Sie sind in der aktuellen Literatur gut verortet und im Detail beschrieben (z. B. Fenkart et al., 2010; Leisen, 2022, 2017, 2013) und werden in der vorliegenden Arbeit aus diesem Grund nicht weiter besprochen. Tabelle 5 fasst hierzu die Hauptmerkmale der Fachsprache zusammen

Tabelle 5: Merkmale der Fachsprache (Carnevale &Wojnesitz, 2014)

<i>Merkmale der Fachsprache</i>	<i>Beispiele</i>
Mehrwortkomplexe	Zylinderkopfmutter Massentierhaltung Elektronenpaarbindung
Viele trennbare Verben	Umwandeln (wandelt um) Absinken (sinkt ab)
Komplexe Attribute	„Viele der reich verzierten präviktorianischen und heute noch gut erhaltenen Gebäude“ „Der in den Nebennieren abgesonderte zähe Schleim“
Textsorten	Versuchsprotokoll Diagramm
Homonyme	Kiefer Bindung Konzentration
Nominalisierung	Das Lösen Das Abdampfen
Darstellungsformen	Symbol Formel (Dis-)kontinuierlicher Text

Schließlich sind Fachsprache bzw. Fachtexte üblicherweise nicht durch ausschmückende Sprachelemente gekennzeichnet, sondern genügen den fachlichen Sujets. Diese Tatsache ist für Lernende in jedem Fall ein ungewohntes Format von Sprache. Ein weiteres Problem beim Erwerb einer soliden Fachsprache ist die Vermischung von verschiedenen sprachlichen Registern wie Alltags- oder Jugendsprache mit der Fachsprache. In der Folge werden von Lernenden niederschwellige Formulierungen mit einer geringen Dichte an bildungs- bzw. fachsprachlichen Merkmalen generiert.

### 3.2.1 Die chemische Fachsprache mit ihren spezifischen Sprachelementen

Die chemische Fachsprache – die chemische Wissenschaftssprache – ist eine formale und präzise Form zur Verdeutlichung chemischer Inhalte (Strippel & Bohrmann-Linde, 2018a). „Chemisch“ wird definiert als Terminus für die chemische Wissen-

schaftssprache, die man als Sprache verwendet, um über die Chemie zu sprechen bzw. auch die Chemie selbst verstehen zu können (Markic & Childs, 2016). Die chemische Wissenschaftssprache wird von Organisationen wie zum Beispiel von der International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), vom Deutschen Institut für Normierung (DIN) oder vom Internationalen Einheitensystem (SI-System) reglementiert (Strippel & Bohrmann-Linde, 2018a). Die chemische Wissenschaftssprache wird dominant von Personen mit chemischer Ausbildung in der formalen Kommunikation verwendet (Parchmann & Venke, 2008). Beispiele für formale Kommunikation sind Publikationen oder Vorträge.

Darüber hinaus ist die chemische Fachsprache geprägt von zahlreichen Fachtermini. Die Versprachlichung von chemischem Fachwissen ohne diese Fachtermini ist auch im Chemieunterricht nicht möglich (Busch & Ralle, 2013). Die Ableitung jedoch, dass schon die korrekte Benennung von Fachbegriffen mit dem korrekten Erwerb von Fachwissen einhergeht, ist nicht zulässig. Zu oft verläuft die Kommunikation erfolglos, wenn Lernende zum Beispiel lediglich inhaltsleere Vokabeln artikulieren (ebd.). Grundsätzlich sollte im chemieunterrichtlichen Geschehen auch die Differenzierung zwischen *Fachbegriff* und *Grundbegriff* reflektiert werden. Beide Begriffe sind spärlich definiert, haben jedoch hohe Relevanz im Lernprozess (Voß & Wagner, 2023). Eine Studie zur Quantifizierung von Fachbegriffen in einer Schulbuchreihe bestätigt die Nennung von über 7700 Fachbegriffen. Dabei wurden in der Folge 108 Grundbegriffe formuliert, die für den Chemieunterricht als essenziell eingestuft wurden. Diese Grundbegriffe wurden wiederum einer Untergliederung (z. B. „Grundbegriffe 1. Ordnung“ wie *Element* oder *Atom*) unterzogen (ebd.). Die Studie belegt die Wichtigkeit einer Formulierung bzw. Kategorisierung von Grundbegriffen für den Lernprozess, weil so eine Überforderung der Lernenden durch die Fachsprache vermieden wird.

Die Gründe für die häufig erfolglose Kommunikation der Lernenden sind unklar. Es gilt genau zu hinterfragen, warum Lernende die Fachsprache nicht anwenden und stattdessen auf niederschwellige Formulierungsstrategien zurückgreifen. Es stellt sich die legitime Frage: Liegen die Formulierungsschwierigkeiten im Chemieunterricht an der Fachsprache oder am Fach? Es wird dokumentiert, dass 90 % der Schwierigkeiten bei einem von Lehrpersonen durchgeführten Physikexperiment auf die Fachsprache zurückzuführen waren (Tajmel, 2013). Diese Tendenz der Fachsprachenproblematik lässt sich im Ansatz auch auf die Lernsituation von Kindern so-

wie auf andere Fächer übertragen (ebd.). Evident ist, dass neben dem adressatengerechten Einsatz der Bildungssprache auch die Fachsprache den Lernerfolg bedingt. Die Fachsprache in der Chemie beinhaltet neben der Vielfalt an Fachbegriffen auch einen hohen Abstraktionsgrad und eine hohe fachsprachliche Informationsdichte. Sie hebt sich maßgeblich von der Alltagssprache ab. Im Chemieunterricht fließen neben der chemischen Wissenschaftssprache auch die Alltagssprache, die Lehr- und Lernsprache und der Laborjargon ein (Barke & Büchter, 2020; Büchter & Barke, 2022; Strippel & Bohrmann-Linde, 2018a).

Die chemische Fachsprache steht auch in enger Wechselwirkung mit dem sogenannten Laborjargon. Der Laborjargon wird durch eine informelle Ausdrucksweise im Rahmen der Labortätigkeit definiert und folgt keiner expliziten Regelung (ebd.). Die Verwendung dieser vorwiegend mündlich konzipierten Sprachausprägung in der Chemie sollte aus fachdidaktischer Sicht im Chemieunterricht vermieden werden, da Laborjargon für Lernende schwer verständlich und nachvollziehbar ist. Laborjargon bringt Probleme in der Differenzierung der chemischen Konzeptebenen mit sich; diese mangelnde Differenzierung ist teilweise auch in der Fachliteratur zu finden (Barke & Büchter, 2020) und trägt in der Folge zu fachsprachlich problematischen Formulierungen bis in den tertiären Bildungsbereich bei. Untersuchungen belegen, dass die Mehrheit der Lehrenden im Fach Chemie den Laborjargon verwendet (Büchter & Barke, 2022). Darüber hinaus konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass der Laborjargon, wenn auch unterschiedlich stark, in den ebenfalls untersuchten Lehrwerken präsent ist (ebd.).

Die Kombination von Fachbegriffen und weiteren fachspezifischen Formulierungen ist durch Konventionen festgelegt. Die chemische Fachsprache besitzt demzufolge eine hohe Informationsdichte (Bernholt, 2021). Die „Übersetzung“ (Bernholt et al., 2012) und die Verknüpfung von Symbolen, ikonischen Darstellungen, Formelsprache und Fachbegriffen in eine für die Lernenden verständliche Sprache stellt jedoch eine große Herausforderung an den Chemieunterricht dar. Es gilt, im Sinne der durchgängigen Sprachbildung die adressatengerechten Sprachebenen immer wieder zu betonen (vgl. Abbildung 3).

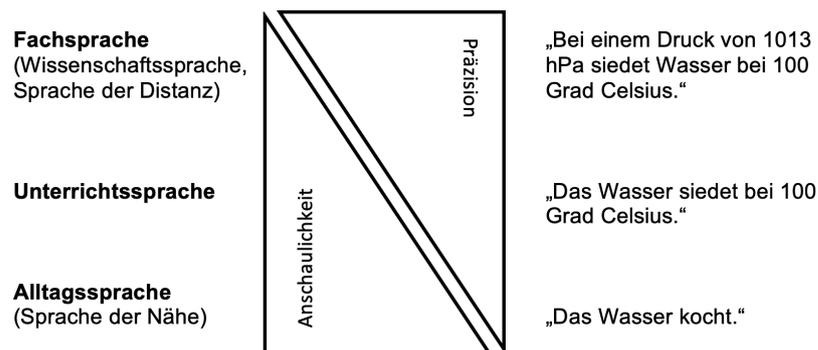


Abbildung 3: Sprachebenen am Beispiel des Siedens von Wasser (adaptiert nach Strippel & Bohrmann-Linde, 2018, S. 242)

Die chemische Fachsprache weist zudem eine hohe Dichte an Nominalisierungen, Komposita, kombinierten Zahlen- und Symbolwörtern sowie Akronymen etc. auf (vgl. Tabelle 6). Somit zeichnet sich die fachspezifische Kommunikation im Unterrichtsfach Chemie durch eine stark hybride Mischung aus Symbolen, Formeln, Ikonen und der komplexen chemischen Fachsprache aus.

Tabelle 6: Syntaktische und morphologische Merkmale im chemischen Kontext

<i>Bildungssprachliche Merkmale</i>	<i>Beispiele im chemischen Kontext</i>
Nominalisierungen	Titrieren, Oxidieren
Komposita	Elektronentransfer, Oktettregel, Nichtmetall
Kombinierte Zahlen- und Symbolwörter	K <sub>a</sub> -Wert, α-D-Glucose, (Z)-Octadec-9-ensäure
Akronyme	PSE, EN-Wert, mRNA
Begriffe mit Prä- oder Suffixen	antibindend, energiereich, sauerstoffarm, säurefest
Homonyme	Niederschlag, Stoff, binden, Konzentration

Ein Überblick über die Parallelen zwischen der Formel- und der geschriebenen Sprache (Schriftsprache) wird in Tabelle 7 aufgezeigt. Das Erlernen wie auch ein sachgerechtes Verknüpfen der einzelnen chemiespezifischen Formulierungen bedarf Geduld, Übung und einer klaren Vorbildfunktion der Lehrenden, damit in der Folge fachliche Fehler von Lernenden minimiert werden können.

Tabelle 7: Parallelen zwischen Schrift- und Formelsprache adaptiert nach Sieve & Bernholt (2021)

<i>Formelsprache</i>	<i>Beispiele</i>	<i>Parallelen zur Schriftsprache</i>
Elementsymbol	H, O	Buchstabe
Baugruppe	Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , OH <sup>-</sup>	Silbe aus mehreren Buchstaben
Chemische Formel	H <sub>2</sub> O, NaCl, NaOH	Wort aus mehreren Silben
Reaktionsgleichung	2 H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> → 2 H <sub>2</sub> O	Satz aus mehreren Worten, der nach bestimmten grammatikalischen, orthografischen und semantischen Regeln konstruiert wird

Lehrpersonen sollten nicht nur ein fachsprachliches Vorbild sein, sondern auch komplexere Zusammenhänge didaktisch so aufbereiten bzw. sprachlich so reduzieren, dass der Lerninhalt angemessen entflechtet und Verständnisproblemen somit vorgebeugt wird, der Inhalt jedoch fachlich noch korrekt bleibt (Barke et al., 2011). Die fachdidaktischen Maßnahmen werden Elementarisierung oder didaktische Reduktion genannt (Barke et al., 2011; Risch & Pfeifer, 2018). Der Chemieunterricht braucht die didaktische Reduktion – jedes Modell oder jedes Symbol ist ein Beispiel einer solchen didaktischen Reduktion und soll den Lerngegenstand leichter oder überhaupt erst zugänglich machen. Die Elementarisierung fordert jedoch das Spannungsfeld zwischen Fachsprache und Fachinhalt enorm heraus, gilt es doch, eine bloße Vereinfachung zu vermeiden und ein „Verwesentlichen“ (Risch & Pfeifer, 2018, S. 48) anzustreben. Eine chemiespezifische Herausforderung der Elementarisierung stellt zum Beispiel der fachgerechte Einsatz der chemischen Konzeptebenen dar. Gerade hier können unscharfe Formulierungen fachlich problematische Konsequenzen und Fehlvorstellungen nach sich ziehen.

Die Gratwanderung zwischen fachlich Falschem und akzeptabler Unschärfe im fachlichen Sprachgebrauch (Sgoff et al., 2005) stellt sich gerade im Chemieunterricht als diffizil dar und wird dementsprechend als didaktisches Dilemma (Salzmann, 1982) bezeichnet. Es stellt sich die Frage, wo Unschärfe beginnt und „Falsches“ endet bzw. ob „Falsches“ gelehrt werden darf (Vollmer, 1989). Die Begrenztheit der Modelle in der Chemie sollte mit den Lernenden diskutiert werden, denn die Erkenntnis der Limitation von Erklärungsmöglichkeiten kann eine bedeutende Erfahrung für sie dar-

stellen (Risch & Pfeifer, 2018). Die Elementarisierung fordert von Lehrpersonen, vorhandene Abstraktionsniveaus an die respektive Altersstufe anzupassen. Dabei sollen das Prinzip der fachlichen Richtigkeit, die Forderung nach Ausbaufähigkeit, z. B. die Forderung nach Erweiterbarkeit von Lerninhalten (Jung, 1972), und das Prinzip der Angemessenheit an die kognitive Struktur der Lernenden eingehalten werden (Risch & Pfeifer, 2018). Die didaktische Reduktion ist somit ein zentraler Aspekt der Chemiedidaktik, egal auf welchem Niveau der Unterricht stattfindet.

Einen weiteren wichtigen Aspekt der chemischen Fachsprache stellen die Symbole dar, das sind konventionell vereinbarte Zeichen, die Objekte ohne Abbildungscharakter benennen (Ainsworth, 2006; Peirce, 1983). Bei Symbolen liegt kein direkter Konnex zwischen Zeichen und Objekt vor. Im Gegensatz dazu weist die ikonische Darstellung reale Bezüge zum Objekt auf. Das reale Objekt, das durch die ikonische Darstellung zum Ausdruck gebracht wird, weist also einen strukturellen Abbildungscharakter des Referenzobjekts auf (ebd.). Ikonische Abbildungen sind Lernenden sowohl aus ihrem Alltag als auch dem Unterricht bekannt (vgl. Abbildung 4).

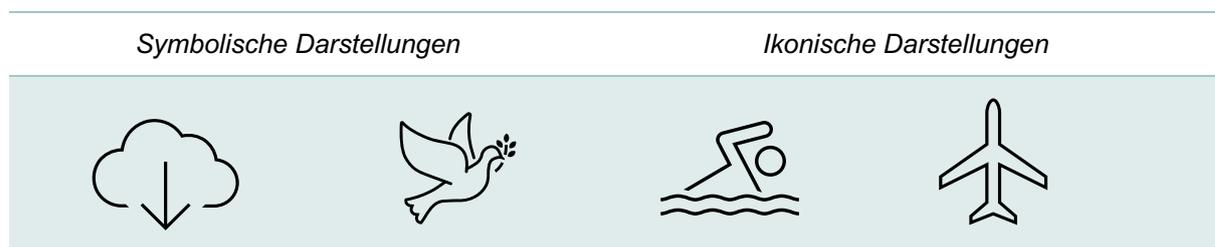


Abbildung 4: Symbolische und ikonische Darstellungen aus dem Alltag

Ein Spezifikum der chemischen Fachsprache ist die Verwendung von Symbolen, Formeln und Abbildungen (Ikonen), die präzisen syntaktischen, semantischen und orthografischen Regeln folgen (vgl. Abbildung 5). Diese bildhaften Darstellungen können helfen, komplexe Sachverhalte zu verdeutlichen und eine notwendige Verbindung zwischen allen chemischen Konzeptebenen transparent zu gestalten; sie ermöglichen das Argumentieren auf allen chemischen Ebenen (Wlotzka & Sieve, 2020). Symbole werden zum Beispiel in Gebieten des Teilchenmodells, des Atommodells nach Dalton, des Kern-Hülle-Modells und des Orbitalmodells zum Einsatz gebracht (Barke et al., 2011). Historisch betrachtet ist das Atommodell in Anlehnung an Dalton die erste Basis chemischer Symbolsprache (Sieve et al., 2022). Auch wenn bildhafte und symbolische Formulierungen durchaus sinnvolle Behelfe sind

(Merzyn, 2008), bergen sie dennoch die Gefahr der Vermischung des intendierten Inhalts mit dem Symbol oder der ikonischen Darstellung (vgl. Kapitel 6.4.2, 6.4.5 und 6.4.6).

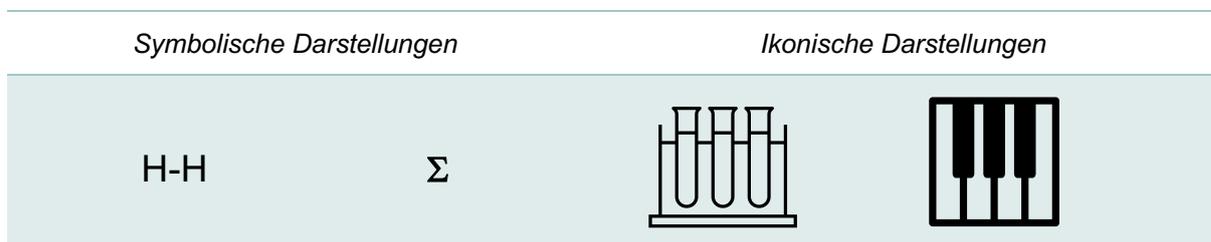


Abbildung 5: Symbolische und ikonische Darstellungen aus dem Schul- bzw. Chemieunterricht

Das Vermischen von sprachlichen und bildlichen Elementen resultiert in Interpretations- und Verständnisschwierigkeiten und verursacht in der Folge fachlich problematische Vorstellungen (Haas & Marohn, 2022). Ein klassisches Beispiel ist die Annahme von Lernenden, dass Molekülformeln als Abkürzung von Stoffnamen gelten (Bernholt, 2021).

### 3.2.2 Kognitive „Übersetzungsleistung“ der Lernenden

Erfolgreiches Lesen bzw. verbales Beschreiben chemischer Inhalte ist eine große kognitive Übersetzungsleistung von Lernenden. Es gilt, nicht nur Informationen zu entnehmen, sondern auch über die Fähigkeit zu verfügen, gezielt Informationen zu verwerfen. Tabelle 8 zeigt zur Veranschaulichung das Beispiel zur Bindungsbildung von Magnesiumoxid (Hoelzel, 2021). Die Darstellung enthält eine Vielzahl an fachlichen Informationen: Nichtbindende Valenzelektronen werden einmal als Striche und einmal als einzelne Punkte dargestellt. Zusätzlicher, diskontinuierlicher Text gestaltet das Entschlüsseln der Darstellung noch schwieriger: Es werden Hinweise auf Reduktions- und Oxidationsmittel mit zusätzlichen Textfragmenten wie „wird oxidiert“ und „wird reduziert“ gegeben (hohe Konfusionsgefahr). Die Lernenden müssen jedoch außerdem über das Fachwissen verfügen, dass ein Magnesiumatom nicht nur zwei Elektronen besitzt, wie in Tabelle 8 gezeigt wird, sondern diese Darstellung lediglich die Valenzelektronen symbolisiert. Implizite Information wie diese wird konterkariert, indem auf der Produktseite Elektronen der inneren Schalen farblich differenziert angezeigt werden. Alle Elektronen (auch die der inneren Schalen) werden als Striche symbolisiert und es werden eckige Klammern mit Ladungen verwendet.

Tabelle 8: Informationen in einer Darstellung der Bindungsbildung von Magnesiumoxid (Hoelzl, 2021)

<i>Bindungsbildung von Magnesiumoxid<sup>2</sup></i>	<i>Sprachliche Herausforderungen</i>
<p>(Hoelzel, 2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diskontinuierlicher Zusatztext hinsichtlich der Stoffeigenschaften</li> <li>▪ Information zur Formelschreibweise</li> <li>▪ Eckige Klammern zur Veranschaulichung des Kations und des Anions mit den resultierenden Ladungen</li> <li>▪ Parallele Verwendung von Teilchen-, Symbol- und Stoffebene</li> </ul>

Gleichzeitig gilt es auch, orthografische Regeln zu Zeichen kognitiv zu erfassen, wie zum Beispiel die Darstellung der Formeleinheit von Magnesiumoxid als MgO und nicht als Omg. Die Interpretation von Linien als Symbol für Bindungen, Plus- oder Minuszeichen als Symbol für elektrische Ladungen und Buchstaben als Abkürzung für Teilchen oder Stoffe ist ebenfalls eine beachtliche kognitive Übersetzungsleistung. Aus fachlicher Sicht sei auch die problematische Darstellung des Sauerstoffs in atomarer Form erwähnt. Schließlich sind die parallelen Konzeptebenen von Teilchen- (Bindungsbildung) und Stoffebene (Stoffeigenschaften von Magnesium, Salz und Magnesiumoxid) anfällig für problematische Wechsel zwischen den Konzeptebenen.

Um die Fülle an Informationen auf Symbol-, Teilchen- und Stoffebene erfassen zu können bzw. die Kompetenz zu erwerben, Texte selektiv lesen zu können, brauchen die Lernenden ein großes Vorwissen und sehr viel Übung (vgl. Kapitel 3.2.1). Eine Darstellung von verschiedenen, parallelen Ebenen kann schwer differenziert und nachvollzogen werden und führt in der Folge zu kognitiven Überlastungen und alternativen Vorstellungen (Johnstone, 2000). Damit die Wechsel für Lernende nicht problematisch werden, sollten alle Wechsel stringent und transparent dargestellt und

<sup>2</sup> Genehmigter Screenshot der Website [www.w-hoelzel.de](http://www.w-hoelzel.de) nach höflicher Anfrage (Hoelzel, 2021).

artikuliert werden (Taber, 2013). Schließlich sollen Lernende stets ermutigt werden, die Wiedergabe von Informationen aus Texten, Modellen und Darstellungen nicht inhaltsleer zu gestalten, sondern die Informationen sinnvoll sowie fach- und adressatengerecht wiederzugeben (Eriksson et al., 2013).

### 3.2.3 Interaktion chemischer Konzeptebenen

Die Chemie beschäftigt sich mit den Eigenschaften, dem Aufbau und den Umwandlungen von Stoffen; dafür sind Beobachtungen von Phänomenen auf der makroskopischen und Explikationen auf der submikroskopischen und symbolischen Ebene notwendig. Diese Erklärungen sind mit enormen Abstraktionsaufwand verbunden und begründen so den permanenten Modellcharakter der Chemie (Wiener et al., 2017). Das Verstehen und Verbinden der verschiedenen Betrachtungsebenen (Konzeptebenen) ist in der Chemiedidaktik von zentraler Bedeutung.

Die Betrachtungsebenen dienen als gute Basis zur Erklärung chemischer Sachverhalte. Die Ebenen bergen jedoch auch durchaus die Gefahr der Konfusion und Fehlinterpretation (Talanquer, 2011), weshalb die Modelle reflektiert zum Einsatz kommen sollten (ebd.). Bekannte Modelle wie in Abbildung 6 (Ian, 2021; Johnstone, 2000; Mahaffy, 2004, 2006) sind in der Fachliteratur gut beschrieben.

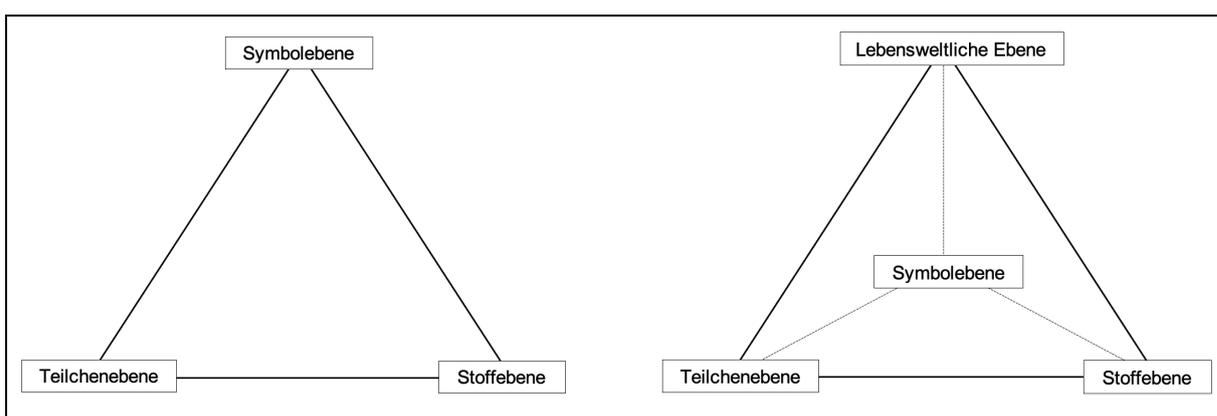


Abbildung 6: Links: Erklärungs- und Konzeptebenen adaptiert nach Johnstone (Johnstone, 2000). Rechts: Erklärungs- und Konzeptebenen adaptiert nach Mahaffy (Mahaffy, 2006)

Die Modelle bieten eine fachliche Strukturierung der Wissenschaft Chemie aus kognitionspsychologischer Sicht (Risch & Pfeifer, 2018), es herrscht Multiperspektivität.

Die Modelle wurden zur Verdeutlichung des Erwerbs chemischer Inhalte auf allen Konzeptebenen entwickelt (Taber, 2013). Beide Modelle beschreiben chemische Inhalte auf jeweils verschiedenen Ebenen, basierend auf kognitionspsychologischen Überlegungen (Strippel & Bohrmann-Linde, 2018a). Johnstone empfiehlt keine häufigen Wechsel zwischen den Ebenen, da diese das Arbeitsgedächtnis von Lernenden überfordern und Fehlvorstellungen initiieren können (Johnstone, 2000). Johnstone betont auch, mit seinem Modell einen chemiedidaktischen Ansatz zum Umgang mit Fehlvorstellungen anzubieten, denn werden die Konzeptebenen nicht transparent separiert, ist es eher wahrscheinlich, Fehlvorstellungen zu erzeugen. Es wird empfohlen, mit der stofflichen (makroskopischen) Ebene zu beginnen und graduell die beiden anderen Konzeptebenen (Teilchen- und Symbolebene) zu implementieren (Strippel & Bohrmann-Linde, 2018a).

Die Erweiterung des Dreiecks um eine anthropomorphe Ebene (*human element*), die sogenannte *lebensweltliche Ebene* oder die *Lebenswelt*, komplettiert das Tetraeder nach Mahaffy (Mahaffy, 2006). Mit dieser vierten Ebene, der *Lebenswelt*, soll ein Anknüpfungspunkt für Lernende ermöglicht werden und die Motivation wie auch das Interesse am Chemieunterricht sollen gesteigert werden. Sie umfasst sprachlich alle Anthropomorphismen, Animismen und Formulierungen außerhalb der chemischen Fachsprache, die eine Optimierung des Lernprozesses herbeiführen können (Lück, 2001; Püttschneider & Lück, 2004).

Sjöström erweiterte das Mahaffy-Tetraeder erneut um Ebenen, die sich auf humanistische bzw. kritisch-reflexive Aspekte von Chemielehrpersonen beziehen, die den dominanten Fachdiskurs um einen sogenannten *mainstream*-Diskurs (Sjöström, 2013) erweitern soll. Die Erweiterung soll neben dem Wissen *in* der Chemie auch das Wissen *über* die Chemie widerspiegeln (ebd.). Beispiel dafür ist die Rolle der Chemie in der Gesellschaft. Die Sjöström-Ebenen werden *critical-reflexive chemistry*, *socio-chemistry* und *applied chemistry* genannt (Sjöström et al., 2020). Mit diesem erweiterten Ansatz soll der traditionell schwache Konnex des Chemieunterrichts mit Bereichen wie der Geschichte, der Philosophie oder der gesellschaftsrelevanten Chemie (z. B. der Kommunikation außerhalb des Chemieunterrichts) verknüpft werden (ebd.).

Die adäquaten Wechsel zwischen den chemischen Konzeptebenen im mündlichen Diskurs können als hohe kognitive Leistung von Lernenden gesehen werden. Dementsprechend hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass Fehler im Laufe eines Diskurses entstehen, wenn eine fachlich korrekte und nachvollziehbare Interaktion der Ebenen nicht eingehalten wird (vgl. Kapitel 6.4). Im Idealfall werden alle Ebenen klar verdeutlicht, damit mit ihrer Hilfe fachlich adäquater Austausch und anschlussfähige Vorstellungen (Haas & Marohn, 2022) adressatengerecht artikuliert werden können. Dafür wurde ein didaktischer Ansatz, der auf dem Johnstone-Dreieck basiert, entwickelt (ebd.). Es wurde eine interaktive und digitale Lernumgebung generiert, die eine Überschneidung der Ebenen minimieren soll. Ziel der Arbeit war es, die genannten Ebenen einfacher darzustellen und dennoch klar voneinander zu separieren. Die Ebenen selbst sind jeweils erneut ausdifferenziert, damit eine optimale Förderung aller Lernenden erzielt wird. Die Optimierung dieser digitalen Lernumgebung schließt auch die Kriterien des sprachbewussten Unterrichts ein. Lernzuwächse und Umgang mit der Lernumgebung wurden im Rahmen von Prä-Post-Erhebungen und Videoanalysen untersucht (ebd.). Diese interaktive Lernumgebung liefert demnach einen didaktisch wertvollen Beitrag zur Förderung der adäquaten Anwendung der chemischen Konzeptebenen.

Grundsätzlich ist eine Differenzierung von Stoff- und Teilchenebene durchaus gut dokumentiert (Heimann et al., 2009). Dokumentationen von Fehlern in den Äußerungen der Lernenden sind in der Literatur ebenfalls durchaus beschrieben (Sgoff et al., 2005; Sieve, 2021); auch diese fachsprachlichen Defizite erzeugen fachlich problematische Vorstellungen (Sieve, 2021). Die Defizite werden durch den von Lehrkräften verwendeten Laborjargon wie auch von der mangelnden fachsprachlichen Genauigkeit der Chemiefachbücher verstärkt (ebd.). Beispiele hinsichtlich unzulässiger Wechsel zwischen der Stoff- und Teilchenebene in Äußerungen von Lernenden sind in Abbildung 7 aufgelistet. Ein Ist-Zustand von typischen Formulierungsfehlern der Lernenden ist von zentraler Bedeutung und bedarf einer noch differenzierteren fachsprachlichen Analyse hinsichtlich aller Wechsel zwischen allen chemischen Konzeptebenen, das heißt einschließlich der lebensweltlichen und der symbolischen Ebene. Die problematischen Wechsel zwischen allen Ebenen sind aus Fachperspektive noch nicht untersucht worden. Insbesondere in Redebeiträgen der Lernenden im Chemieunterricht ist eine derartige fachsprachliche Bestandsaufnahme von großer

Bedeutung, damit die Probleme hinsichtlich des Verständnisses von chemischen Zusammenhängen genau abgebildet werden.

„Das Ethanol-Molekül ist hydrophiler als das Methan-Molekül.“

„Magnesium gibt zwei Elektronen an Sauerstoff ab.“

„Magnesium ist unedel.“

„Methan besteht aus vier Wasserstoffen und einem Kohlenstoff.“

„In Wasser ist Sauerstoff enthalten.“

„Im Wasser wird das Salz flüssig.“

„Energie wird in die Teilchen aufgenommen.“

„Die OH-Gruppen sind hydrophil und lösen sich deswegen gut.“

Abbildung 7: Beispiele problematischer Wechsel zwischen der Stoff- und der Teilchenebene (Beispiel 1–4: Sieve, 2021, S. 19–20; Beispiel 5–8: Sgoff et al., 2005, S. 7)

### 3.2.4 Herausforderung Elementbegriff

Ein fachgerechter Einsatz des Elementbegriffs ist durchaus eine Herausforderung. *Element* ist ein fundamentaler Terminus, der im Unterricht reflektiert eingesetzt werden sollte, denn er wird einer aktuellen Studie zufolge sogar als Grundbegriff 1. Ordnung kategorisiert (Voß & Wagner, 2023). Schon in den 90er-Jahren des 20. Jahrhunderts wurden die Schwierigkeiten rund um den adäquaten Einsatz des Elementbegriffs beschrieben. Dieser zentrale Begriff wird im Chemieunterricht jedoch immer noch zu wenig reflektiert eingesetzt (Rehm & Sieve, 2012). Daraus resultieren problematische Wechsel zwischen allen Konzeptebenen, die in der Folge für hohes Verwirrpotenzial hinsichtlich der jeweiligen Definitionen auf Teilchen- und Stoffebene (Fleischer, 2021) sorgen. Dies erhöht bei Lernenden die Unsicherheit in der Verwendung des Begriffs *Element* (Merzyn, 2008). Gleichzeitig wird der Elementbegriff unreflektiert verwendet.

Historisch gesehen sind drei homonyme Bedeutungen des chemischen Elementbegriffs relevant (Rehm & Sieve, 2012). Robert Boyle definiert im 17. Jahrhundert das Element als einen Stoff, der nicht weiter in zwei oder mehrere Stoffe zerlegt werden kann. Er definiert den Begriff klar auf der Stoffebene. Beim Arbeiten mit dem Perio-

densystem der Elemente wird der Elementbegriff mit physikalischen Größen definiert und bezieht sich grundsätzlich auf die Eigenschaften eines elementaren Stoffs nach Boyle. Im Gegensatz dazu postuliert Boyle die chemischen Verbindungen als Stoffe, die „zerlegt“ werden können. Antoine de Lavoisier bestätigt im 18. Jahrhundert das Elementkonzept von Boyle insofern, als dass ein Stoff in keine einfacheren Stoffe mehr zerlegt werden kann. Lavoisier postuliert, dass das Element jedoch ein Träger der Masse mit eigenschaftsverleihendem Charakter ist. Nach Lavoisier wird das Element nicht als Stoff gedacht, sondern als *principe*, das bei chemischen Reaktionen von Stoffen nach der Umwandlung erhalten bleibt (Rehm & Sieve, 2012).

Nach den Regeln der IUPAC wird schließlich neben der Stoff- auch die Teilchenebene der Materie für den Elementbegriff eröffnet (ebd.). Danach ist ein Element einerseits ein chemischer Reinstoff, der nur aus einer Atomsorte mit derselben Zahl an Protonen im Kern zusammengesetzt ist. Diese Definition soll die Stoffebene verdeutlichen. In Einbezug der Atomtheorie mit allen Elementarteilchen als Atombausteine kann der Terminus *Element* andererseits auch als eine Atomsorte (Teilchenebene), bestehend aus Atomen derselben Protonenzahl, definiert werden (Gold, 2019). Alle Atome eines chemischen Elements haben dieselbe Kernladungszahl; sie sind im Periodensystem dementsprechend angeordnet (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Definition des Terminus *Element* auf der makroskopischen und der submikroskopischen Ebene (Sieve et al., 2022)

<i>Stoffebene (Kontinuum)</i>	<i>Teilchenebene (Diskontinuum)</i>
Chemisch nicht zerlegbarer Grundstoff	Atomart bzw. Atomsorte

Die durchaus anspruchsvollen Definitionen des Begriffs *Element* im makroskopischen und submikroskopischen Sinne werden im unterrichtlichen Geschehen selten reflektiert. Durch ein homonymes Verwenden können alle chemischen Konzeptebenen (Symbol-, Stoff- und Teilchenebene und Lebenswelt) problematisch beeinflusst werden. Dies kann sich in der Folge massiv auf fachliche Vorstellungen bzw. sprachliche Formulierungen der Lernenden auswirken und zum problematischen Wechsel zwischen allen chemischen Konzeptebenen führen (vgl. Kapitel 6.4).

Aktuell steht zur Diskussion, den Elementbegriff ausschließlich auf der Teilchenebene zu verwenden (Hähndel, 2020). Im Gegensatz dazu steht die Prämisse, den Begriff sowohl auf der Teilchen- als auch auf der Stoffebene zu positionieren (Rehm & Sieve, 2012). Gleichzeitig werden alle drei Konzeptebenen bei Grundbegriffen wie *Element*, *Atom* und *Verbindung* gefordert bzw. gefördert (Kremer & Bee, 2019). Die IUPAC definiert den Elementbegriff auf Stoff- und Teilchenebene (vgl. Tabelle 9); von Fleischer wird diese Definition des Begriffs *Element* einer Beschreibung ausschließlich auf der Stoffebene gegenübergestellt (Fleischer, 2021). Es wird vorgeschlagen, das chemische Element als Menge von Stoffen zu definieren; das heißt, dass zum Beispiel Kohlenstoff das chemische Element darstellt, das die Mengenelemente bzw. elementaren Stoffe Graphit, Diamant, Fulleren und Graphen enthält. Im Anfangsunterricht könnten so die Unterschiede hinsichtlich der Eigenschaften elementarer Stoffe des gleichen Elements überzeugend erarbeitet werden. Experimentell kann diese Überzeugungsarbeit mit der Allotropie des Schwefels gut gelingen (ebd.). Der Vorschlag, ein Element mit seinen elementaren Stoffen als Mengenelement zu beschreiben, hat den Vorteil, die Wissenschaft Chemie als dynamisch und nicht abgeschlossen darzustellen. Es eröffnet die Möglichkeit, weitere Modifikationen (elementare Stoffe) eines Elements zu erforschen (ebd.). Um sich der Herausforderung der adäquaten Fachsprache auf allen Ebenen (Stoff-, Teilchen- und Symbolebene und Lebenswelt) differenziert zu stellen, braucht man also eine Bestandsaufnahme derselben und ein fundamentales Verstehen wichtiger Begriffe wie *Stoff*, *Atom*, *Element* und *Energie* (Rehm & Stäudel, 2012), insbesondere im verbalen unterrichtlichen Diskurs.

Ein konformer Wechsel zwischen den chemischen Konzeptebenen sollte demnach transparent und nachvollziehbar erfolgen. Eine homonyme Verwendung des Elementbegriffs wie auch mangelnde Differenzierung schafft Probleme hinsichtlich fachgerechter Formulierungen, die bis in den tertiären Bildungsbereich reichen (Taskin et al., 2017). Die Problematik des Elementbegriffs stellt lediglich eine Facette von Sprachhürden in der Fachsprache dar. Weitere sprachliche Herausforderungen für Lernende werden im folgenden Kapitel dargelegt.

### 3.3 Mündliche Kommunikation

In den folgenden Unterkapiteln wird die mündliche Kommunikation im Unterricht erörtert. Das vorliegende Kapitel bietet zunächst einen Abriss der Verbindung von Denken und Sprechen, erörtert dann den Faktor Zeit in Bezug auf die Qualität der Antwort von Lernenden und zeigt danach die Relevanz von Antwortlängen von Lehrpersonen und Redeanteile von Lehrpersonen und Lernenden auf. Schließlich wird auf die Wartezeit zwischen Fragestellung und Antwort und auf die spezifischen Herausforderungen des mündlichen Chemieunterrichts eingegangen.

Mündliche Sprachfähigkeiten sind im Alltag und Beruf von entscheidender sozialer Bedeutung (Eriksson et al., 2013), erlauben eine aktive Teilhabe am gesellschaftlichen Leben und eine situationsbezogene Handlungsfähigkeit. Sprachfähigkeiten bzw. -handlungen können allgemein in rezeptiv und produktiv, in phonisch oder grafisch, in monologisch oder dialoghaft bzw. situationsgebunden oder nicht situationsgebunden eingeteilt werden (Lange et al., 2010). Zu den mündlichen Sprachhandlungen zählen die Kompetenzbereiche Hören und Sprechen. Letzteres wird noch in zusammenhängendes Sprechen und Teilnahme an Gesprächen differenziert (Tuor, 2013). Studien wie zum Beispiel PISA (OECD, 2020) zeigen, dass die Anforderungen hinsichtlich der mündlichen Kommunikation eine große Hürde im Wissenserwerb der Lernenden im Bereich der Rezeption (Hören) wie auch in der Produktion (Sprechen) darstellen, da sie zu einer erfolgreichen Teilnahme am unterrichtlichen Geschehen beitragen. Schließlich ist Kommunikation im Bildungskontext Instrument und Objekt des Lernens zugleich (Ahlers et al., 2009).

In den naturwissenschaftlichen Fächern sind aktivere und qualitativ hochwertigere mündliche Sprachfertigkeiten von Lernenden von hoher Relevanz. In einer Schweizer Studie wurden Lehrpersonen (Primar- und Sekundarstufe) zur Einschätzung der Förderung von mündlichen Sprachfertigkeiten in ihrem Unterricht befragt. Die Ergebnisse der Studie belegten, dass mündliche Sprachfertigkeiten überwiegend in den Sprachfächern und weniger in technischen oder naturwissenschaftlichen Fächern gezielt gefördert werden (Tuor, 2013). Somit bedarf es im Bereich der mündlichen Kommunikation umfangreicherer Förderung, vor allem im Unterricht.

Allgemein kann Unterricht als eine Akkumulation von Sprech- und Zuhörsituationen gesehen werden (Eriksson et al., 2013). Lernende reagieren auf mündliche Impulse der Lehrperson, artikulieren unter anderem aber auch Lernergebnisse und ihre Meinung oder befinden sich in mündlichen Prüfungssituationen. Darüber hinaus tauschen sich Lernende in Gruppenarbeitsphasen über Sachverhalte aus (ebd.). In den jeweiligen Sprechsituationen sind demnach auch verschiedene Sprachregister bzw. Diskursformen im Einsatz. Somit sind solide Sprechfertigkeiten von Lernenden in allen Fächern als durchaus relevant einzustufen.

Grundsätzlich kann jeder Diskurs im Klassenzimmer auch als institutioneller Diskurs eingestuft werden (Hoermann & Lindner, 2011). Er befolgt klare Richtlinien: Es existiert eine rigide Rederechtverteilung zwischen Lehrenden und Lernenden und es herrscht eine Distanz zwischen den beteiligten Personen. Mündliche Kommunikation in der Schule zielt auf die Wissensweitergabe ab. Diese enge Definition wird jedoch durch verschiedene Unterrichtskonzepte wie den offenen Unterricht oder das forschend-entdeckende Lernen aufgebrochen (ebd.). Der fragend-entwickelnde Unterricht gibt als geschlossene Unterrichtsform jedoch wenig Raum für kommunikative Kompetenzen im Sinne von bildungs- und fachsprachlich reichen Redebeiträgen. Dem institutionellen Diskurs steht der homileische Diskurs gegenüber, der durch folgende Parameter definiert wird: Kommunikation im Alltag, Gleichberechtigung der Kommunikationspartnerinnen und Kommunikationspartner sowie Vertrauensverhältnis zwischen ihnen und absichtsloses und zweckfreies Erzählen und Verarbeiten von Erlebtem (ebd.). Diese Formen der Informationsweitergabe stärken zwischenmenschliche Verbindungen und können auch zur Selbstreflexion dienen.

Lernen ist dann nachhaltig, wenn Sprechen und Denken in sich greifen und der Gebrauch von Fachsprache kein Verstehen vortäuscht (Gebhard et al., 2017). Denken und Sprechen sind also nicht zu trennen; das Sprechen über etwas und mit anderen zeigt, ob eine Person tatsächlich etwas verstanden hat und Lernen möglich wird (Merzyn, 2008, 2016; Wagenschein, 1995). Aus der Fremdsprachenforschung ist bekannt, dass das Sprechen von Lernenden im Unterricht einen maßgeblichen Beitrag zum Lernerfolg leistet (M. T. Chi et al., 1994; Gibbons, 2002, 2015) und für ein nachhaltiges Lernergebnis mitverantwortlich ist. Gibbons deklariert das Unterrichtsgespräch als hochrelevanten Faktor kindlichen Lernens und beschreibt außerdem, dass häufige Redebeiträge von Lernenden auch deren Selbstwert definieren (Gib-

bons, 2002). Dabei wird die intrinsische Motivation zur Unterrichtsbeteiligung gesteigert.

In der mündlichen Kommunikation kann der Faktor Zeit als wesentlich eingestuft werden, um unter anderem Lernenden Gelegenheiten zu geben, Antworten adäquat auszuformulieren und gegebenenfalls selbst zu überformen. Neben der eigentlichen Gelegenheit, Redebeiträge aktiv im unterrichtlichen Geschehen zu formulieren, bedarf es unbedingt einer längeren Pause zwischen Äußerungen von Lehrenden und Lernenden. Diese Zeitspanne wird *wait time* (Wartezeit) genannt (Kleinschmidt-Schinke, 2018). Es ist jene Zeit, die gegeben wird, damit Lernende die Möglichkeit zur Reflexion der Frage haben, bevor sie antworten. Zusätzlich wird die *wait time* nach Tobin auch als Pause definiert, also als jene Zeit, die zwischen dem Stellen einer Frage und der tatsächlichen Antwort verstreicht (Tobin, 1987). Dieses verbale Nichthandeln (ebd.) von Lehrpersonen während der *wait time* ist für die Qualität der Redebeiträge von Lernenden von großer Bedeutung.

Rowes Untersuchungen ergaben, dass im regulären Unterricht eine sehr kurze durchschnittliche Wartezeit von ungefähr einer Sekunde zwischen Äußerungen von Lehrenden und anschließender Äußerung von Lernenden herrscht (Rowe, 1972, 1986). Weitere Studien zeigen, dass schon eine *wait time* von mehr als drei Sekunden kognitiv höherwertigere Redebeiträge von Lernenden evoziert (Tobin, 1987). Dieses Ergebnis konnte in der Primar- und der Sekundarstufe beobachtet werden (ebd.). Diese wichtige zusätzliche *wait time* erleichterte das Formulieren einer kognitiv anspruchsvolleren Antwort, weil mehr Zeit zum Denken blieb. Diese Erkenntnis ist ein wichtiger Faktor zum Erhalt von Redebeiträgen mit einem höheren Anteil fach- und bildungssprachlicher Elemente. Die zusätzliche *wait time* ist ein Parameter für die vorliegende Untersuchung im Hinblick auf die Gestaltung der Leitfadeninterviews.

Der Chemieunterricht ist grundsätzlich durch mündliche Sprachhandlungen zwischen Lehrpersonen und Lernenden oder zwischen Lernenden untereinander stark geprägt (Strippel & Bohrmann-Linde, 2018b). Darüber hinaus sind Versuchsvorschriften im Experimentalunterricht oder Aufgaben in Gruppenarbeitsphasen meist Anlass zu mündlichen Sprachhandlungen.

Lernende bewegen sich dabei in einem diffizilen Spannungsfeld zwischen den sprachlichen Registern Alltags-, Bildungs- und Fachsprache. Dieser Wechsel findet häufig unreflektiert statt (Strippel & Bohrmann-Linde, 2018b). Diese Reflexion hinsichtlich des adäquaten Einsatzes der gesprochenen Sprache ist jedoch ein wichtiger Teil der pädagogischen Arbeit im Unterricht. Denn die Fähigkeit, sich an fachunterrichtlicher Kommunikation zu beteiligen, entscheidet über die sprachliche Handlungsfähigkeit (Buttlar, 2018; Sacher, 2018; Schmölzer-Eibinger & Langer, 2010). Lernenden soll im eigenen Sprechen ermöglicht werden, neue Begriffe und Erkenntnisse des Chemieunterrichts dauerhaft zu verinnerlichen (Merzyn, 2015). Erfolgreiche Kommunikation sollte daher als Lernziel des sprachbewussten Fachunterrichts und weniger als eine angestrebte Methode angesehen werden (Feige et al., 2017). Dennoch sind Unterrichtsgespräche in der Sekundarstufe I oft zu eng geführt bzw. orientieren sich am fragend-entwickelnden Stil, der wenig offene Fragen bzw. tiefer gehende Denkprozesse zulässt (Gudjons, 2003; Pineker-Fischer, 2017).

Der sprachbewusste Chemieunterricht ist heute durchaus klar sichtbar in der lange experimentell geprägten Chemiedidaktik, vor allem im Hinblick auf die produktive Sprachhandlung *Schreiben* (Fenkart et al., 2010; Schmölzer-Eibinger et al., 2013; Schmölzer-Eibinger & Langer, 2010). Die Arbeit mit Texten im Sinne der produktiven (Schreiben) und rezeptiven (Lesen) Sprachhandlungen sind im naturwissenschaftlichen Unterricht häufig im Zuge der Leistungsfeststellung zu finden. Lesen und Schreiben sind demnach gut in den naturwissenschaftlichen Didaktiken verortet (Schmölzer-Eibinger et al., 2013). Es ist nun an der Zeit, der produktiven Sprachhandlung *Sprechen* im mündlich geprägten Fach Chemie höhere Aufmerksamkeit zu widmen, denn das Sprechen erscheint durchaus defizitär (Sumfleth et al., 2013). Lehrplan oder Zeitmangel dürfen nicht als Grund genannt werden, diese produktive Sprachhandlung als irrelevant zu degradieren. Schon Wagenschein betonte die hohe Relevanz zwischen Denken und Sprechen (Wagenschein, 1995). Neben der Reflexion der mündlichen Redebeiträge von Lernenden muss auch die mündliche Fachsprache der Lehrpersonen reflektiert und dann angemessen eingesetzt werden (Schroeter-Brauss et al., 2018).

Der Chemieunterricht selbst findet überwiegend mündlich statt. Der geringe qualitätsvolle Sprechanteil von Lernenden wird aber erst dann wahrgenommen, wenn Lernende sich im Unterricht tatsächlich mit Redebeiträgen zu äußern versuchen. Ihre

Redebeiträge zeigen sodann Schwierigkeiten hinsichtlich der Verwendung adäquater bildungs- und fachsprachlicher Elemente auf. Damit Fehler vermieden werden, werden in der Folge Äußerungen in Form von kurzen Satzfragmenten oder sogar Ein-Wort-Antworten (Pineker-Fischer, 2017) offeriert (vgl. Kapitel 3.3.1 und 3.3.2). Es kann somit festgehalten werden, dass ein aktiver Umgang mit der Fachsprache bei Lernenden im Unterricht unbedingt in einer Weise eingefordert werden sollte, dass er nachhaltig, reflektiert und fachlich angemessen stattfinden kann (Aleksov et al., 2021). Um mit Fachbegriffen vertraut zu werden, müssen Lernende immer die Gelegenheit zur eigenen Formulierung haben, denn wie schon beim Spracherwerb von Kleinkindern genügt das Zuhören auch hier nicht (Merzyn, 2008).

Im mündlichen Diskurs kann bis zu einem gewissen Grad von einem Fremdsprachencharakter der chemischen Fachsprache gesprochen werden. Wie in einer Fremdsprache ist es bei der Fachsprache ebenso notwendig, Gedanken mit neuen Fachbegriffen autonom auszuformulieren und Satz für Satz zu neuem Wissen zu formen (Stäudel et al., 2008). Die chemische Fachsprache bedient sich dabei im übertragenen Sinne einer eigenen Grammatik. Ihr Erwerb kommt so dem einer Fremdsprache gleich (Sieve & Hilker, 2019). Die alleinige Benennung von Fachtermini kann nämlich nicht garantieren, dass fachliche Inhalte tatsächlich verstanden wurden, die Gefahr von Verstehensillusionen ist groß. „Speaking chemistry“ (Markic et al., 2013, S. 13), also der Erwerb von neuen Fachbegriffen mit neuen Bedeutungen, unterscheidet sich demnach maßgeblich vom Fremdsprachenlernen, wo neue Termini für durchaus bekannte Phänomene eingelernt werden (Markic et al., 2013). Des Weiteren sollten die Betrachtungsebenen von allen Gesprächsbeteiligten mitgedacht werden (Parchmann & Bernholt, 2013). Ähnlich wie beim Erwerb einer neuen Sprache spielt die Interaktivität der Gesprächsbeteiligten eine große Rolle. Beeinflusst wird die Qualität des Fachgesprächs insbesondere von der Flüchtigkeit wie auch von der Gestik von allen Beteiligten des Gesprächs, dem Gesprächstempo, dem parallelen Sprechen sowie dem Verarbeiten und dem Zuhören.

Die Redeanteile und Antwortlängen von Lernenden können durchaus mit deren Verständnis der artikulierten Fachinhalte korrelieren. Die folgenden Ausführungen beschreiben die Relevanz dieser zwei Faktoren in Bezug auf die fachliche Qualität von Redebeiträgen. Redeanteil und Antwortlänge stellen demnach Parameter des Kommunikationsverhaltens für ertragreiche Redebeiträge der geführten Interviews dar.

### 3.3.1 Redeanteile von Lernenden im Chemieunterricht

Eine qualitätsvolle mündliche Kommunikation von Lernenden im Fach Chemie ist immer noch eine wenig eingeforderte Sprachhandlung. Das Beobachten oder Durchführen eines chemischen Experiments zum Beispiel eröffnet Möglichkeiten für eine Vielzahl an unreflektierten Redebeiträgen und mündlichen Schilderungen von Lernenden, die üblicherweise von alltagssprachlichen Elementen, inhaltsleeren Füllwörtern und Rückverweisen ohne klare Referenz zu einem Bezugswort dominiert sind (vgl. Kapitel 3.1). Auch konventionelle unterrichtliche Gespräche zwischen Lehrenden und Lernenden sind häufig eine Kombination aus vorwiegend alltags- und wenigen fachsprachlichen Versatzstücken.

Gängige Kommunikationsmuster wie der fragend-entwickelnde Unterricht oder das Abfragen definitiven Wissens sind durch überwiegende Redeanteile von Lehrpersonen charakterisiert (Strippel & Bohrmann-Linde, 2018b). Es konnte belegt werden, dass die Lehrperson die Kommunikation im Chemiesaal dominiert, meist mit einer generell engen Fragestellung (Franke-Braun, 2008). Diese Formate haben kurze Antworten zur Folge und lassen komplexeren Gedankengängen und Meinungen von Lernenden wenig Raum. Ausschweifende, monologische Darbietungen von Lehrpersonen im Chemieunterricht, die von einer fragend-entwickelnden Unterrichtsmethode gestützt sind, bringen den kognitiv anspruchsvollen Redebeitrag seitens der Lernenden zum Erliegen, auch bei jenen, die üblicherweise überdurchschnittlich wortgewandt auftreten (Sumfleth & Pitton, 1998). Quantitative Ergebnisse durch Unterrichts-EKGs belegen, dass der durchschnittliche maximale Redeanteil von Lernenden 23 % an der Gesamtkommunikation im Chemieunterricht beträgt (Sumfleth & Pitton, 1998). Die Studie belegt auch, dass Lernende zwar durchaus häufig antworteten, ihre Äußerungen jedoch lediglich aus Ein- und Zwei-Wort-Sätzen bestanden, die wenig Rückschlüsse auf den fachlichen Inhalt erlauben.

Je geringer die Redeanteile von Lernenden sind, desto geringer ist die Chance, dass das Begriffsverständnis von Lehrenden und Lernenden identisch ist (Merzyn, 2008, 2016). Gibt es wenige Gelegenheiten zum Sprechen (u. a. weniger als einen Satz), verringert sich die Aussicht auf sprachliche Sicherheit. Je größer der Redeanteil der Lehrpersonen, desto höher ist die Gefahr, dass sich das Begriffsverständnis zwi-

schen Lehrpersonen und Lernenden unterscheidet und das unterschiedliche Begriffsverständnis unbemerkt bleibt (Merzyn, 1998, 2008).

In der heutigen Forschung im Bereich der Chemiedidaktik ist der Zusammenhang zwischen Redeanteilen von Lernenden und Lehrenden und dem Lernerfolg belegt; es wurde bestätigt, dass ein hoher Anteil an Erklärungen von Lernenden zu signifikant höherem Lernerfolg führt (Schulz, 2011). Knobloch et al. konnten belegen, dass fachlich anspruchsvolle Kommunikation von Lernenden mit einem höheren Lernerfolg in Kleingruppen einhergeht (Knobloch et al., 2013). Ungeklärt bleibt jedoch immer noch die Frage, ob geringe Leistungen im argumentativen Gespräch auf mangelnde fachliche Kommunikationskompetenz oder mangelndes Fachwissen zurückzuführen sind (Schroeter-Brauss et al., 2018; Sumfleth et al., 2013). Tatsache ist, dass Sprach- und Situationsangemessenheit für Lernende eine immense Herausforderung darstellen (Schroeter-Brauss et al., 2018).

Redebeiträge bzw. Äußerungen von Lernenden als produktive Sprachhandlung beinhalten eine Bandbreite an (fach-)sprachlichen Verständnis- und Formulierungsschwierigkeiten, die aktuell unbeforscht sind. Unklar ist auch, ob – wie erwähnt – Lernende jene Sachverhalte auch tatsächlich meinen, die sie artikulieren (Sieve & Bernholt, 2021). Es gilt also, den Fokus vermehrt auf das Sprechen im Chemieunterricht zu legen, sodass die Wiedergabe der Informationen aus Texten, Symbolen und Modellen auf allen verschiedenen Darstellungsebenen (Leisen, 2013) nicht inhaltsleer artikuliert wird, sondern nachvollziehbar und fach- und adressatengerecht erfolgen kann (Eriksson et al., 2013). Dies stellt ein dringendes Desiderat der Forschung dar, da mündliche Beiträge nicht im gleichen Ausmaß reflektiert und lernorientiert gestaltet werden wie schreiborientierte Leistungen (Eriksson & De Pietro, 2011). Gelerntes muss also ausgesprochen und immer wieder formuliert werden, damit fachspezifische Strukturen und Fachbegriffe nachhaltig verinnerlicht werden (vgl. Kapitel 3.2). Ein sprechorientierter Unterricht kann nicht nur lernschwache, sondern auch leistungsstarke Kinder positiv beeinflussen, die erfahrungsgemäß im Chemieunterricht sprichwörtlich sprachlos werden, obwohl sie in anderen Fächern gute Leistungen – vor allem im Hinblick auf mündliche Kommunikationskompetenzen – zeigen können (Streller et al., 2019). Diese Schwierigkeiten sind der Natur der volatilen mündlichen Sprachhandlung und demnach der Kohäsionsprobleme im Diskurs geschuldet (Häckl & Maiwald, 2017).

Die Konsequenzen von geringen Redeanteilen von Lernenden im Chemieunterricht sind offensichtlich: Erstens können sie zu fachlichen Verständnisproblemen führen, die leicht unerkant bleiben (Häckl & Maiwald, 2017). Zweitens ist Gedachtes, Gesagtes und Gemeintes nicht immer identisch. Bei den Versatzstücken sind durchaus auch inhaltsleere Platzhalter gemeint (Sumfleth & Pitton, 1998); eine Tatsache, die in der Folge ebenfalls hohe fachliche Verständnisprobleme mit sich bringt.

Ein hochwertiges Klärungsgespräch mit langen Redebeiträgen von Lernenden ermöglicht erst eine Diskussionsbasis und bietet die Chance auf sach- und adressatengerechte Verwendung fach- und bildungssprachlicher Begriffe. Bei inhaltlicher Klärung der Redebeiträge kann festgestellt werden, ob mit den Begriffen der Lernenden tatsächlich die gleichen Konzepte wie jene der Lehrperson gemeint sind. Bei engmaschiger Fragestellung und kurzen Antworten können keine Rückschlüsse gezogen werden und die Möglichkeit, Missverständnisse aufzudecken, wird nicht genutzt (Strippel & Bohrmann-Linde, 2018b). Es gilt also, die Aufmerksamkeit auf die (fach-)sprachliche Interaktion zwischen Lernenden und Lehrenden zu erhöhen. Kurze Antworten mit einzelnen Fachbegriffen sind lediglich Versatzstücke bzw. inhaltsleere Hülsen von Lernenden, die im Diskurs in einem Scheingespräch abgeliefert werden (Wuttke, 2005). Die Äußerungen beinhalten potenzielle Fehlvorstellungen und führen in der Folge zu einem Verständigungsproblem (Sumfleth & Pitton, 1998), wenn es denn überhaupt reflektiert wird. Meist bleiben Missverständnisse oder Verständnislücken unreflektiert zurück. Potenzielle Verständnislücken und Formierungsdefizite dürfen also nicht übergangen werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Redeanteil von Lernenden im Chemieunterricht laut aktueller Forschung eindeutig als zu gering beurteilt und Gesagtes von Lernenden nicht ausreichend hinterfragt wird. Darüber hinaus kann ein dominanter Kommunikationsanteil von Lehrenden bestätigt werden.

### **3.3.2 Länge der Antworten von Lernenden im Chemieunterricht**

Eine Studie belegt, dass mehr als die Hälfte aller Antworten von Lernenden im naturwissenschaftlichen Unterricht aus maximal drei Wörtern bestehen (Pineker-Fischer, 2017). Studien von Videoaufzeichnungen untersuchen die Qualität verbaler Kommunikation im Chemieunterricht unter anderem zwischen Lehrenden und Ler-

nenden und deren Redeanteile in der Unterrichtszeit. Es wurde bestätigt, dass die Redeanteile von Lehrpersonen in den einzelnen Stunden dominieren und Lernende häufig „einsilbig“ antworten (Ahlers et al., 2009). Die geringe mündliche Mitarbeit wurde mit fachlichem Unverständnis oder möglicher sprachlicher Probleme erklärt (Streller et al., 2019). In jedem Fall erfordern gute Überprüfungen des Lernerfolgs produktive Sprachfertigkeiten, allen voran die produktive Sprachhandlung Sprechen.

Auch wenn das Ausmerzen von mündlichen (fach-)sprachlichen Unzulänglichkeiten Raum, Zeit und Geduld braucht und den Lernenden dazu Möglichkeiten eingeräumt werden müssen, mit der Fachsprache produktiv umzugehen (ebd.), ist dies zwingend notwendig, wenn ein nachhaltiger Lernerfolg gewährleistet werden soll. Erfolgreiches Lernen kann auch durch autonome Reflexion und anschließende eigene Überformung der Redebeiträge von Lernenden erfolgen. Eine verbale Selbsterklärung führt ebenso zu kognitiver Anregung (Deibl, 2018) wie ein lernförderliches Verbalisieren (Stäudel et al., 2008) oder lautes Denken (M. T. Chi et al., 1994; M. T. H. Chi et al., 1989; Renkl, 1997a, 1997b). Die genannten Faktoren fördern nicht nur den Lernerfolg, sondern auch die intrinsische Motivation, den Selbstwert und die Freude am Unterricht (Deibl, 2018).

Lernenden soll die Möglichkeit geboten werden, die Bedeutung ihres Gesprochenen in wertschätzender Atmosphäre zu reflektieren. Scheingespräche, Ein-Wort-Antworten oder die bloße Vermittlung von definitorischem Wissen ist in den Hintergrund zu stellen. Lernende haben erst dann eine Chance, ihre Redebeiträge lernwirksam zu gestalten, wenn sie möglichst exakt das artikulieren können, was sie auch tatsächlich meinen (Sieve & Hilker, 2019). Bei höherem Redeanteil und längeren Antworten der Lernenden ist es in der Folge möglich, eine seriöse (fach-)sprachliche Analyse durchzuführen, wie die vorliegende Arbeit zeigt. Ertragreiche, qualitätsvolle Redebeiträge von Lernenden sind somit im Chemieunterricht aus chemiedidaktischer Sicht hochrelevant und bedürfen einer genauen Analyse (vgl. Kapitel 6), denn es zeigt sich ein enger Zusammenhang zwischen Redeanteilen bzw. dem generellen Verbalisieren von Wissen von Lernenden und dem Wissenserwerb (Ahlers et al., 2009; Knobloch et al., 2013).

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass der Chemieunterricht, wie alle naturwissenschaftlichen Schulfächer, traditionell experimentell geprägten Charakter

besitzt und die Erkenntnisgewinnung eine vorrangige Position einnimmt. Viele europäische Lehrpläne, darunter auch der österreichische Lehrplan, sehen für das Fach Chemie am Gymnasium und Realgymnasium als Bildungs- und Lehraufgaben neben der Vermittlung der Bereiche Natur und Technik, Mensch und Gesellschaft, Gesundheit und Bewegung auch die von Sprache und Kommunikation vor (BMBWF, 2022). Die chemische Fachsprache bzw. fachsprachliche Fertigkeiten können jedoch nur in Kommunikationssituationen erworben werden. Ein erfolgreicher Wissenserwerb steht auch in Zusammenhang mit Selbsterklärungen, die eine bedeutende Form des Verbalisierens darstellen (M. T. Chi et al., 1994; M. T. H. Chi et al., 1989), insbesondere dann, wenn die Begriffsverwendung zwischen den Gesprächsbeteiligten auf einem ungleichen Verständnis basiert (Menthe et al., 2019).

## 4 Theoretische Grundlagen zum Forschungsdesign

Empirische Untersuchungen wie die Analyse von Redebeiträgen werden in der Regel auf Leitfadeninterviews gestützt, die auf genau definierten Stimulationsfragen basieren. Die Generierung von Daten wird dadurch vorstrukturiert und erlaubt so eine klare Gesprächsführung. Will man stringente und ertragreiche Redebeiträge im Sinne der formulierten Forschungsfragen erhalten, müssen Stimulationsfragen einer Vorstudie unterzogen, evaluiert und gegebenenfalls adaptiert werden.

Ausgangspunkt jeder wissenschaftlichen Arbeit ist eine Fragestellung, die zum Beispiel über eigene empirische Erfahrungen im Berufsfeld oder Lücken in einer Literaturrecherche festgelegt wird und bisher noch nicht formuliert wurde (Röbken & Wetzel, 2016). Die eigenen Daten dienen in der Folge zur Beantwortung der Forschungsfragen. Ziel jedes Forschungsprojekts ist es, wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs zu generieren, wo bisher noch keine bzw. wenige Erkenntnisse vorlagen.

Nach der Erhebungsphase werden Rohdaten üblicherweise in ein Softwareprogramm überführt, wo die Datenaufbereitung und Datenauswertung erfolgen. Die textbasierten Datensätze werden in der Regel einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (Mayring, 2015) unterzogen. Die Inhaltsanalyse erlaubt ein offenes und flexibles Prozedere des generierten Datensatzes, wodurch neue Sachverhalte entdeckt werden (Röbken & Wetzel, 2016). Ein solches Design arbeitet zirkulär, explorativ und deskriptiv, da der explorative Analyseansatz auf einer konstanten Rückkoppelung des zu untersuchenden Materials basiert. Bei Veränderungen des Analyseansatzes zielt das Verfahren auf weitere Materialdurchläufe ab. So werden die Analyseschritte immer wieder nachgeschärft und optimiert und genau dokumentiert. Dieser Arbeitsprozess führt so zu einer systematischen, regelgeleiteten und reproduzierbaren Differenzierung der zu untersuchenden Daten. Das Forschungsziel – die Bestandsaufnahme neu generierter Sachverhalte – kann im qualitativen Design optimal erreicht werden, da das Untersuchungsfeld (schulische Umgebung), die Datenform (textbasiert) und die Auswertungsmethode (deskriptiv) ein qualitatives Verfahren bedingen (ebd.). Das Forschungsziel der vorliegenden Arbeit bedingte eine induktiv-deduktive qualitative Inhaltsanalyse, da nur durch ein exploratives induktives bzw. deduktives Vorgehen die (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten und sprachlichen Strategien von Lernenden hinsichtlich der Forschungsfragen abgebildet werden konnten.

## **4.1 Das Leitfadeninterview**

Das Interview als Erhebungsinstrument ist ein ökonomisches Verfahren der Datengewinnung, das Einsicht in Praxisbereiche unter direkter Beobachtung zulässt (Deppermann, 2013). Diese Erhebungsform gilt als direkte Interaktion zwischen Personen mit festgelegten Rollenvorgaben als Interviewende und Befragte. Sie gilt als eine verbreitete Methode zur Generierung qualitativer Daten (Friebertshäuser et al., 2013; Helfferich, 2014). Die Interviewsituation repräsentiert ein asymmetrisches Rollenverhältnis mit künstlichem Charakter, da die Kommunikation nicht den Regeln der Alltagskommunikation entspricht. Interviews werden grob in vorstrukturierte (Leitfadeninterviews) und offene Formen (erzählgenerierende Interviews) klassifiziert. Es handelt sich hierbei um eine grobe Einteilung, die viele Mischformen erlaubt (Helfferich, 2014).

Das Leitfadeninterview als vorstrukturierte Form der Befragung setzt ein Vorverständnis des Untersuchungsgegenstandes der Forschenden einerseits und eine festgelegte Reihenfolge in den Einzelinterviews der Beforschten andererseits voraus (ebd.). Diese Form von Interviews ermöglicht es, den Erwartungshorizont potenzieller verbaler Äußerungen zu begrenzen. Die Struktur richtet sich auf vorab im Unterricht ermittelte Inhalte. Der Leitfaden des Interviews stellt eine systematische Vorgabe zur Gesprächsführung dar. Die ihm zugrunde liegenden Fragen basieren auf fundierten theoretischen bzw. empirischen Erwartungen (vgl. Kapitel 5.2).

Zusätzlich enthält das Leitfadeninterview optionale Elemente wie Aufforderungen oder Zwischenfragen. Die Interviewführung basiert methodologisch auf der Entscheidung, das Interview „so offen wie möglich und so strukturierend wie nötig“ (ebd., S. 560) im Sinne des Forschungsinteresses zu gestalten. Es wird empfohlen, die Leitfragen in einem Probelauf zu testen.

## **4.2 Die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring**

Die sozialwissenschaftliche Inhaltsanalyse basiert auf Kommunikation in jeder Form, jedoch hauptsächlich auf Sprache (Röbken & Wetzel, 2016). Diese Kommunikation liegt protokolliert vor und kann somit als fixierte Kommunikation beschrieben werden (Mayring, 2015). Sie wird demnach streng regelgeleitet, standardisiert und nachvoll-

ziehbar untersucht und lässt dennoch eine gewisse emergente Flexibilität des Designs zu (Röbken & Wetzel, 2016). Die Qualität des systematischen Vorgehens wird durch einen ausgewiesenen theoretischen Hintergrund, auf dem die einzelnen Analyseschritte und Überlegungen beruhen, erhöht und über Gütekriterien validiert.

Das Kategoriensystem (Codesystem<sup>3</sup>) mit seiner Kategorienkonstruktion und -begründung stellt das Fundament und gleichzeitig das zentrale Ergebnis der qualitativen Inhaltsanalyse dar. Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse ist es, Rückschlüsse auf Aspekte der Kommunikation zu ziehen und neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen (Mayring, 2015). Bei der qualitativen wissenschaftlichen Analyse werden Aussagen über das jeweilige Material getroffen, indem dieses strukturiert wird. Diese Struktur wird über die Definition einzelner Merkmale erhalten, deren Ausprägungen Gegenstand der Analyse sind (ebd.).

Die qualitative Analyse nach Mayring kann grob in folgende Grundtechniken eingeteilt werden: die zusammenfassende Inhaltsanalyse, die induktive Kategorienbildung, die explizierende Inhaltsanalyse, die deduktive Kategorienanwendung und Mischtechniken (Mayring & Fenzl, 2014). Die schrittweise Analyse in allen Techniken zeichnet sich durch Prozessorientierung und das Prinzip der Offenheit aus. Im Zentrum jeder Analyse steht die systematische Reduktion des Datenmaterials, das Segmentieren desselben in Analyseeinheiten (vgl. Tabelle 10) und die Anwendung der inhaltsanalytischen Gütekriterien (Mayring, 2015). Im Rahmen der Inhaltsanalyse sind genaue inhaltsanalytische Regeln der Kategorienbildung vorgesehen (vgl. Abbildung 8). Diese Kategorien werden auch Codes bezeichnet und stellen trennscharfe Ausprägungen bzw. Merkmale des Datensatzes dar. Es ist festzuhalten, dass der Geltungsbereich eines erhaltenen Codesystems durch die Population begrenzt und die theoretische Repräsentanz durch die Fallzahl limitiert ist.

Charakteristisch für die induktive qualitative Inhaltsanalyse ist wie schon erwähnt die schrittweise Kategorienbildung aus dem Material heraus. Sie wird rollend im Analy-

---

<sup>3</sup> In dieser Arbeit werden in Anlehnung an die Software MAXQDA folgende Begriffe synonym verwendet: Codesystem und Kategoriensystem, Codes und Kategorien, Subcodes und Unterkategorien bzw. Unterkodes etc.

seprozess entwickelt und ständig adaptiert (Mayring & Fenzl, 2014). Abbildung 8 zeigt eine Übersicht über die induktive Kategorienbildung.

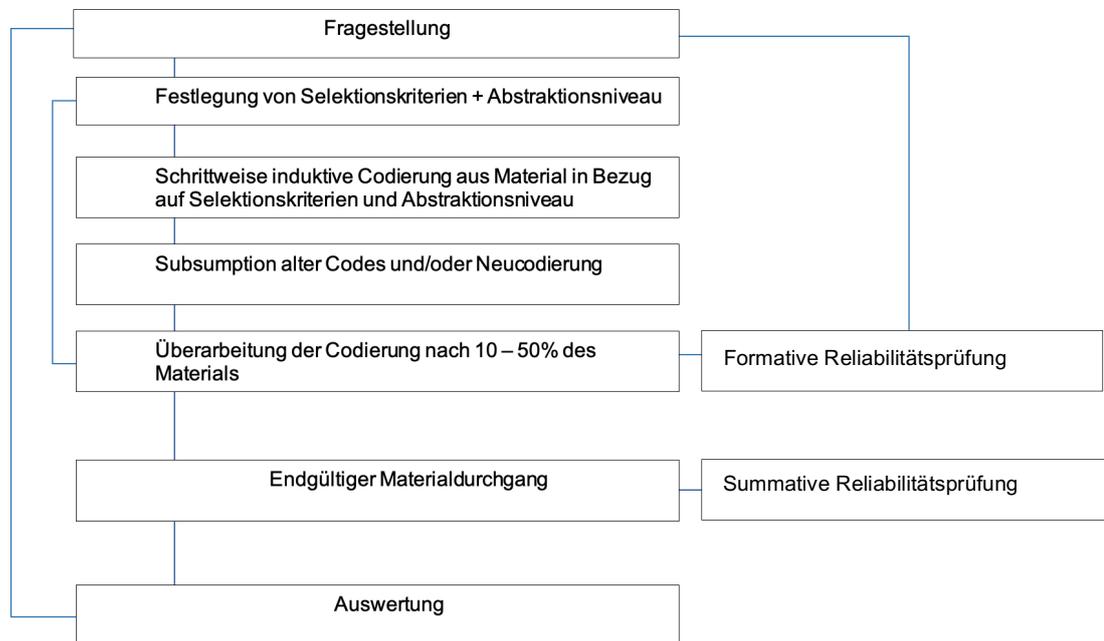


Abbildung 8: Ablaufmodell der induktiven Codierung nach Mayring (Mayring & Fenzl, 2014)

Die systematische Generierung von induktiven Codes aus dem Datensatz basierte auf den Regeln bzw. Bedingungen zur erfolgreichen Codierung auf verschiedenen Ebenen (Mayring & Fenzl, 2014), die in Tabelle 10 zusammengefasst sind. Tabelle 11 nimmt Bezug auf die Forschungsfragen und bildet die abgeleiteten Regeln basierend auf der vorliegenden Arbeit ab.

Tabelle 10: Inhaltsanalytische Regeln am Beispiel der induktiven Codierung (adaptiert nach Mayring & Fenzl, 2014)

<i>Ebene</i>	<i>Überlegung</i>
1 Abstraktionsniveau	Auf welcher Verallgemeinerungsebene werden die Codes sprachlich formuliert?
2 Selektionskriterium	Welche Textstellen bzw. welche Textsegmente werden im Material codiert?
3 Codiereinheit	Was ist der kleinste zu codierende Textbestandteil?
4 Kontexteinheit	Gibt es Hintergrundinformation zur Codierungsentscheidung, das heißt, gibt es Material, das dafür herangezogen werden kann, den notwendigen Kontext für einen Code zu generieren?
5 Auswertungseinheit	Welche Textportionen können mit dem Codesystem ausgewertet werden?

Mithilfe dieser Regeln konnten differenzierte Bedingungen im Hinblick auf die Forschungsfragen dieser Arbeit abgeleitet werden (vgl. Tabelle 11). Eine regelkonforme Genese der Codes garantierte die Nachvollziehbarkeit, die Transparenz und die Qualität der Codes (vgl. Kapitel 6.2).

Tabelle 11: Abgeleitete Bedingungen für eine induktive Codierung hinsichtlich der Forschungsfragen

<i>Ebene</i>	<i>Bedingung</i>
1 Abstraktionsniveau	Konkret beschreibbares (fach-)sprachliches Problem, das auch auf weitere Codeeinheiten zutreffen kann
2 Selektionskriterium	Hinweise auf problematische Formulierungen, resultierend aus (fach-)sprachlicher Ungenauigkeit
3 Codeeinheit	Kleinstes Textsegment, das codiert werden darf Sinntragende Phrase Wortsequenz mit Sinnzusammenhang
4 Kontexteinheit	Fachlicher Hintergrund der Codierungsentscheidung
5 Auswertungseinheit	Alle verwertbaren Daten

### 4.3 Gütekriterien

Die Gütekriterien der qualitativen Forschung unterscheiden sich maßgeblich von jenen der quantitativen Forschung (Steinke, 1999). Diese Gütekriterien sind in Tabelle

12 zusammengefasst. Der Fokus der qualitativen Forschung liegt auf der Entwicklung neuer Erkenntnisse und der Exploration des Feldes (ebd.). Qualitative Forschungsdesigns zeichnen sich einerseits durch übergreifende Leistungsmerkmale aus und werden durch qualitätssichernde Maßnahmen auf der Verfahrensebene andererseits erweitert (Strübing et al., 2018). Dabei kann die Reliabilität einer Untersuchung auch als Stabilität bzw. Genauigkeit derselben bezeichnet werden. Sie bildet die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ab. Bei Reliabilitätsüberprüfungen werden üblicherweise Retests, Paralleltests oder Konsistenztests (Split-Half-Methode) unterschieden. Die Intercoderreliabilität stellt ein wichtiges spezifisches inhaltsanalytisches Gütekriterium dar. Bei inhaltsanalytischen Reliabilitätsbestimmungen werden üblicherweise relevante Ausschnitte des Materials von mehreren Personen (Intercoder) durchgeführt und die Ergebnisse verglichen (Intercoderreliabilität). Mit diesem Verfahren wird im Grunde die Objektivität bzw. die Unabhängigkeit der Resultate von der forschenden Person und damit die inhaltliche Aussagekraft gemessen (Mayring, 2015). Die Intercoderreliabilität wird durch mathematisch bestimmte Koeffizienten, z. B. Koeffizient Kappa  $\kappa$  nach Brennan und Prediger (Brennan & Prediger, 1981), beschrieben. Schließlich wird die Intracoderreliabilität als erneute Codierung der erstcodierenden Person zu einem späteren Zeitpunkt definiert. Die Validität bildet ab, ob eine Messung tatsächlich das gemessen hat, was zu messen intendiert war. Sie kann im engeren Sinne material-, ergebnis- oder prozessorientiert bestimmt werden (Krippendorff, 1980). Ein materialorientiertes Kriterium ist die semantische Gültigkeit, die sich auf die Angemessenheit der Codedefinitionen (Definitionen der Codes, Ankerbeispiele, Codierregeln) bezieht (ebd.). Alle in der vorliegenden Arbeit relevanten eingehaltenen Gütekriterien sind in Tabelle 12 zusammengefasst. Die Gütekriterien sind in Kapitel 5 differenziert dargestellt.

Tabelle 12: Erfüllte Gütekriterien qualitativer Forschung (adaptiert nach Steinke, 1999) für die vorliegenden Arbeit

<i>Gütekriterien</i>	
Intersubjektive Nachvollziehbarkeit	Exakte Dokumentation des Forschungsprozesses
Sicherung der Reliabilität/ Semantische Gültigkeit	Erstellung eines Codierleitfadens Angemessenheit der Codedefinitionen Diskursive Einigung und Übereinstimmung von Analyseentscheidungen mit weiteren Forschenden Bestimmung der InterCODerreliabilität Bestimmung der IntracODerreliabilität
Gegenstandsangemessenheit	Datenerhebung Wahl der Auswertungsmethode Transkriptionsregeln
Limitation	Grenzen des Geltungsbereichs der Arbeit
Reflexion	Dokumentation der Erfahrungen im Feld

Die InterCODerübereinstimmung gilt primär als ein Ausdifferenzieren von Codieranweisungen und einzelnen Codierungen. Sie wird jedoch auch als prozentuale Übereinstimmung der InterCODer berechnet (vgl. Kapitel 5.5) und so als qualitätssichernde Maßnahme herangezogen (Göhner & Krell, 2020). Per Definition wird die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen den beiden InterCODern (Ratern) eingeholt. Jede Codeeinheit, bei der beide Rater denselben Code zugewiesen haben, wird als eine Übereinstimmung gezählt (Müller-Benedict, 2019). Im nächsten Schritt werden nicht nur die prozentuellen Übereinstimmungsraten ausgewiesen, sondern auch zufallsbereinigte Koeffizienten bestimmt. Die Grundidee derartiger Koeffizienten besteht darin, die Übereinstimmung um jenen Anteil zu reduzieren, den man bei einer zufälligen Zuordnung von Codes zur Codeeinheit erhalten würde (vgl. Kapitel 5.5.2).

Um die Qualität der Datenauswertung zu erhöhen, wurde die IntracODerreliabilität bestimmt. Sie wird auch über die Übereinstimmungsmaßzahl  $\kappa$  ausgedrückt.  $\kappa$  gibt an, wie gut die Codierungen von Rater 1 zu Beginn und am Ende (Rater 1') der Untersuchung übereinstimmen. Tabelle 13 zeigt die theoretische Berechnung des Koeffizienten  $\kappa$ .

Tabelle 13: Koeffizient  $\kappa$  zur Überprüfung der Intracoderreliabilität

		Rater 1		
		1	0	
Rater 1'	1	a	b	a + b
	0	c	d	c + d
		a + c	b + d	

$$P(\text{observed}) = P_o = a / (a + b + c)$$

$$P(\text{chance}) = P_c = 1 / \text{Anzahl der Codes}$$

Bei ungleicher Anzahl an Codes pro Segment:

$$P(\text{chance}) = P_c = \text{Anzahl der Codes} / (\text{Anzahl der Codes} + 1)^2$$

$$\text{Kappa} = (P_o - P_c) / (1 - P_c)$$

## 5 Forschungsdesign und Datenerhebung

Im vorliegenden Kapitel wird die Datenerhebung beschrieben und danach die Genese der Stimulationsfragen für die Leitfadeninterviews erörtert (vgl. Kapitel 5.1). Daraufgehend werden das Design sowie die Ergebnisse der Vorstudie vorgestellt (vgl. Kapitel 5.2). In Kapitel 5.3 wird das Forschungsdesign der Vorstudie, in Kapitel 5.4 die Hauptstudie beschrieben. Es folgen die Daten zur Sicherung der Reliabilität und ein Überblick der Codegenese (vgl. Kapitel 5.5).

### 5.1 Datenerhebung

Für die Erhebung der Daten wurden Leitfadeninterviews gewählt, die in der Folge computergestützt transkribiert und im Anschluss einer qualitativen induktiv-deduktiven Inhaltsanalyse unterzogen wurden. Es wurden 82 Lernende aus fünf Klassen zweier österreichischen Schulen interviewt. Vor der Hauptstudie wurde eine Vorstudie durchgeführt, um die Fragen des Leitfadeninterviews zu optimieren. Die Kohorte der Vorstudie umfasste 59 Lernende aus drei Klassen eines österreichischen Gymnasiums. Die Genehmigung der Bildungsdirektion des österreichischen Bundeslandes Kärnten sowie die Erlaubnis der Schuldirektion und der Erziehungsberechtigten wurden vor Durchführung der Studien eingeholt. Im Zuge des empirischen Vorgehens befanden sich die Schülerinnen und Schüler im ersten Lernjahr des Faches Chemie; dies ist die achte Schulstufe.

Stimulationsfragen zur Akquirierung der mündlichen Redebeiträge wurden aus dem Themengebiet *Grundlagen chemischer Bindungsmodelle* (vgl. Kapitel 5.2) gestellt. Das Themengebiet wurde für die Untersuchung deswegen gewählt, da es sich um ein für die Lernenden sehr komplexes und kognitiv anspruchsvolles Thema handelt. Die Sprache bzw. Fachsprache als Transfermedium dieses Wissens nehmen dabei eine durchaus große Rolle ein. Des Weiteren stellen chemische Bindungsmodelle ein zentrales Thema im Curriculum dar. Schließlich sei zu erwähnen, dass das Themengebiet der chemischen Bindungsmodelle von großer Bedeutung für den weiteren hierarchischen Verständnisaufbau im Fach Chemie ist.

## 5.2 Entwicklung der Stimulationsfragen

Damit möglichst geeignete Stimulationsfragen für die Hauptstudie entwickelt werden konnten, die Antworten von den Lernenden provozieren, wurden entsprechende Kriterien erarbeitet. Die Stimulationsfragen wurden im Rahmen einer Vorstudie erprobt, sodass die Planungsentscheidungen auf beschriebenen theoretischen Grundlagen basierten. Folgende Auflistung fasst die Planungsentscheidungen zusammen:

- Formulierung von „Hervorlockern“ (Schmidt & Parchmann, 2011)
- Vermeidung von wenig aussagekräftigen Ein-Wort-Antworten (Ahlers et al., 2009)
- Berücksichtigung der Zone der nächsten Entwicklung (Vygotskij et al., 1977)
- Berücksichtigung der kalkulierten Herausforderung (Leisen, 2019)

Der Terminus „Hervorlocker“ wurde im Rahmen der konstruktivistischen Unterrichtsstrategie zur Beforschung der Lernenden und ihrer Vorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht nach Driver verwendet (Driver & Scott, 1994). Hervorlocker sind sprachliche Stimulatoren, die Diskussionen oder Redebeiträge jeglicher Art initiieren. Die Stimulationsfragen wurden so formuliert, dass sie ertragreiche Redebeiträge im Sinne der Forschungsfragen generieren. Ein wichtiger Planungsfaktor zur Genese optimaler Stimulationsfragen war der Anspruch auf wortreiche, lange Redebeiträge, die einen möglichst hohen Anteil an (fach-)sprachlichen Elementen enthielten; das heißt, die Vermeidung von Ein-Wort-Antworten (Ahlers et al., 2009), wie sie in Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 beschrieben ist, wurde angestrebt. Die didaktischen Planungsentscheidungen zur Erstellung der Stimulationsfragen beruhten auch auf dem sogenannten Prinzip der kalkulierten Herausforderung (Leisen, 2019). In Anlehnung an Vygotskijs Zone der nächsten Entwicklung (Vygotskij et al., 1977) wird bei diesem Prinzip eine Über- und eine Unterforderung als lernbehindernd angesehen. Aufgabenstellungen sollen demnach fordern und mit Anstrengung erfolgreich, aber nicht zwingend fehlerfrei zu bewältigen sein (Leisen, 2019). Die kognitiven Anforderungen müssen beim Prinzip der kalkulierten Herausforderung sorgsam gewählt sein, sonst findet kein Lernen statt (ebd.).

Fragestellung und Formulierung der Stimulationsfragen basierten inhaltlich auf der Durchsicht des Kapitels über die Grundlagen chemischer Bindungsmodelle verschie-

dener Chemieschulbücher der Sekundarstufe I (Frühauf & Tegen, 2014; Haim & Müller, 2016; Kechajas & Voitic, 2014). Mithilfe dieser Schulbücher und unter Berücksichtigung der oben genannten Kriterien entstand ein Stimulationsfragenpool, aus dem im Hinblick auf die beschriebenen Kriterien und Anforderungen fünf Fragen gewählt wurden (vgl. Tabelle 14). Die Frage A wurde direkt aus dem Werk von Kechajas und Voitic mit dem Titel *Mehrfach Chemie 4* entnommen (Kechajas & Voitic, 2014, S. 14).

Tabelle 14: Stimulationsfragen der Vorstudie

A	Warum binden sich Atome überhaupt?
B	Was bedeutet „Elektronen abgeben“, wenn man von der Ionenbindung spricht?
C	Was bedeutet der Satz: „Ionen sind geladene Teilchen“?
D	Wie kann man das verstehen: „Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen“?

Damit den Lernenden noch mehr Raum für komplexeren fachsprachlichen Diskurs geboten wird, wurde der Fragenpool der Hauptstudie um eine Frage erweitert (vgl. Tabelle 15). Es war methodisch nicht mehr möglich, einen eigenen Testlauf für Frage E zu generieren, weshalb Frage E sogleich in den Pool der Hauptstudienfragen implementiert wurde. Frage E war relevant, weil sie mit einem noch höheren Maß an Genauigkeit auf Symbol- wie auch auf Teilchenebene beantwortet werden musste, damit eine genaue verbale Darstellung wiedergegeben werden konnte. Diese Genauigkeit bedingte eine hohe Dichte an Verweisformen. Aus unterrichtlicher Empirie war bekannt, dass Mehrfachbindungen ein hohes Potenzial an sprachlichen Herausforderungen mit sich bringen. Schließlich repräsentierte Frage E die W-Fragen, die als offene Fragen gelten und nicht mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden konnten (Lohnstein, 2013).

Tabelle 15: Erweiterte Liste der Stimulationsfragen der Hauptstudie

A	Warum binden sich Atome überhaupt?
B	Was bedeutet „Elektronen abgeben“, wenn man von der Ionenbindung spricht?
C	Was bedeutet der Satz: „Ionen sind geladene Teilchen“?
D	Wie kann man das verstehen: „Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen“?
E	Was ist eine Doppelbindung und wie kommt sie zustande?

Die Beantwortung der Stimulationsfragen erforderte ein hohes Maß an Genauigkeit auf Stoff-, Symbol- wie auch auf Teilchenebene, damit eine genaue verbale Darstellung wiedergegeben werden konnte. Die Stimulationsfragen A bis E erlaubten Rückfragen in den Sprechanklässen, damit exakte Zusammenhänge verstanden sowie (fach-)sprachliche Schwierigkeiten und Strategien sichtbar und systematisch dokumentiert werden konnten.

Es erforderte diskursives Geschick, problematische Formulierungen so zu hinterfragen, dass es den natürlichen Gesprächsverlauf wie auch den Gedankengang der Lernenden so wenig wie möglich beeinträchtigte. So ergaben sich in allen Interviews Situationen, in denen eine Klärung hinsichtlich fachlicher Eindeutigkeit durch Rückfragen möglich war; von hoher Relevanz waren jene Gesprächspassagen, die Verweisformen enthielten. Die Referenz dieser Verweisformen auf eine zuvor erwähnte fachliche Entität konnte durch Rückfragen geklärt werden.

### 5.3 Vorstudie

Ziel der Vorstudie war es, Redebeiträge von Lernenden zu definierten Stimulationsfragen (vgl. Tabelle 14) aus dem Bereich *Grundlagen chemischer Bindungsmodelle* zu audiografieren und gegebenenfalls die Formulierung der Stimulationsfragen für die Hauptstudie nachzuschärfen. Es war ebenfalls geplant, verwertbare Daten im Sinne der Forschungsfragen aus der Vorstudie in die Datenauswertung im Sinne repräsentativer Beispiele zu implementieren.

Für die Vorstudie wurden im Juni 2019 von der Autorin Audiografien durchgeführt. Die Erarbeitung der für die Schulstufe entsprechenden wesentlichen Aspekte von

Bindungsmodellen basierten auf dem Standardwerk für die Sekundarstufe I mit dem Titel *Expedition Chemie* (Haim & Müller, 2016). Die Erhebung der Daten für die Vorstudie erfolgte über Audiografie mit Smartphones der einzelnen Lernenden. Stand kein Smartphone zur Verfügung, wurde eines bereitgestellt. Die Audiografien via Smartphone ermöglichten dabei exakte Sprachprodukte jedes einzelnen Lernenden in kurzer Zeit.

Der Unterricht wurde in den für die Audiografie bestimmten Chemiestunden so organisiert, dass alle Lernenden das Smartphone vor sich auf dem Schultisch liegen hatten. Vor der Datenerhebung wurde im Unterricht erwähnt, dass es sich bei den Aufnahmen um eine spielerische Übung handelte. Diese Tatsache war relevant, da womöglich ein zu hoher Anspruch hinsichtlich der Korrektheit der Antworten entstanden wäre, der womöglich zu Blockaden geführt hätte.

Die Audiografien wurden im Rahmen einer Wiederholungsstunde nach Abhandlung des Themengebiets *Grundlagen chemischer Bindungsmodelle* generiert. Es wurden fünf Stimulationsfragen (vgl. Kapitel 5.2) im Laufe des Unterrichtsgeschehens gestellt. Nach dem Stellen einer Stimulationsfrage nahmen alle Lernenden über das Smartphone ihre individuellen Antworten zur jeweiligen Frage als Sprachnachricht auf. Dafür wurde ein MP3-Rekorder genutzt, der als Applikation auf dem Smartphone kostenfrei zur Verfügung stand. Die individuellen Antworten wurden verschlüsselt als MP3-Datei auf dem Smartphone gespeichert und in die schuleigene Cloud gesendet.

Aus der Vorstudie wurde ersichtlich, dass die monologischen Redebeiträge die Präsenz von problematisch verwendeten Verweisformen bestätigten. Gleichzeitig wurde klar, dass die untersuchten Segmente genauer differenziert werden können. Da die problematische Verwendung von Formen von Verweisen auf zuvor erwähnte fachspezifische Entitäten beobachtet wurde, war ein Rückfragen bzw. eine Rückversicherung erforderlich, damit deren klare Referenz auf die fachliche Entität bestätigt wurde. Es war somit eine Interaktion zwischen Lehrenden und Lernenden erforderlich, damit diese Passagen genau beschrieben werden konnten. Aus diesem Grund wurde ein Methodenwechsel durchgeführt und Leitfadeninterviews für die Hauptstudie wurden ausgewählt, deren Planung auf den in Kapitel 4.1 erörterten Grundlagen basiert.

Es kann festgehalten werden, dass alle Fragen die erwarteten Ergebnisse lieferten. Alle Hervorlocker erfüllten die notwendigen Kriterien und lieferten qualitativ wie quantitativ wertvolle Redebeiträge hinsichtlich der Forschungsfragen.

## 5.4 Hauptstudie

Ziel der Hauptstudie war es, über Leitfadeninterviews fachliche bzw. (fach-)sprachliche Strategien in Redebeiträgen von Lernenden im Themenbereich Grundlagen chemischer Bindungsmodelle zu differenzieren (Forschungsfrage 1), die sprachlichen Schwierigkeiten der Lernenden dabei zu beschreiben (Forschungsfrage 2) und Häufigkeiten hinsichtlich des Auftretens von Strategien und Schwierigkeiten zu dokumentieren (Forschungsfrage 3). Dabei wurde die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring gewählt (vgl. Kapitel 4.2). Die Beantwortung der Forschungsfragen verlangte eine offene Exploration des Forschungsfeldes und eine prozessorientierte Entdeckung neuer Zusammenhänge, die ein qualitativer, explorativer Ansatz erfüllt.

Für die Datenauswertung in der vorliegenden Arbeit wurde die Methode der induktiv-deduktiven qualitativen Analyse nach Mayring gewählt, da zur Beantwortung der Forschungsfragen ein explorativer Zugang zum Material erforderlich war. Die Art des Herangehens an die Codierung im kontrollierten Design ermöglichte es, die Redebeiträge der Lernenden in Analyseeinheiten aufzubrechen und genaue Selektionskriterien und Abstraktionsniveaus für diese Fragmente zu definieren (Mayring & Fenzl, 2017).

Die Leitfadeninterviews der vorliegenden Arbeit wurden in schulischer Umgebung erst nach erfolgreich durchlaufener Pilotphase zur Evaluierung der Stimulationsfragen durchgeführt. Während der Interviews wurden Elemente der Interviewführung implementiert (Aufforderungen, Affirmationen, Zwischenfragen), damit die Qualität und der Ertrag der Redebeiträge bzw. Äußerungen erhöht werden konnten.

Die Unterrichtsreihe zur Erarbeitung der wesentlichen Aspekte von Bindungsmodellen vor Interviews basierte auf den Standardwerken für die Sekundarstufe I, den Werken *Expedition Chemie* (Haim & Müller, 2016) und *Stoffe* (Magyar et al., 2014).

Alle Interviews wurden von der Autorin durchgeführt und mit computerunterstützter Daten- und Textanalyse ausgewertet. Die Software MAXQDA 2020 (VERBI Software, 2020) ermöglichte sowohl die Transkription als auch die qualitative Analyse der Daten. Die Transkription von Vor- und Hauptstudie erfolgte nach den Regeln von Kuckartz (Kuckartz, 2010).

Die Interviews wurden in den Räumlichkeiten der jeweiligen Schule (in den an den Chemiesaal angrenzenden Büroräumen der Chemielehrpersonen) durchgeführt. Es wurde ein mobiles Aufnahmegerät (*Zoom H2n*, portabler WAV/MP3-Rekorder) verwendet. Die Lernenden kamen einzeln in den Raum, erhielten ein Briefing über den Ablauf, den Zweck und die Dauer des Interviews. Nach dem audiografierten Gespräch (Hauptteil) wurde allen Lernenden eine kleine Aufmerksamkeit als Dank übergeben und erneut die Versicherung ausgesprochen, dass die Daten vertraulich behandelt werden (Debriefing). Während des Gesprächs wurden keine fachinhaltlichen Korrekturen bei den Lernenden vorgenommen, damit der natürliche Verlauf des Gedankengangs der Lernenden nicht unterbrochen wurde. Es wurden jedoch Zwischenfragen hinsichtlich problematisch verwendeter Verweisformen gestellt, womit deren Referenz auf zuvor erwähnte Fachbegriffe geprüft wurde. Es gab im weiteren Verlauf lediglich Kommentare, mit denen die Wertschätzung und die Aufmerksamkeit während der verbalen Ausführungen signalisiert wurde. Die häufigsten Kommentare und deren Intention sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Antworten wie „Ja, das ist richtig“ oder „Nein, das ist falsch“ wurden nicht verwendet.

Tabelle 16: Beispiele für Zwischen- bzw. Rückfragen im Gesprächsverlauf

<i>Kommentar</i>	<i>Intention</i>
„Ok.“	Neutrale Bestätigung des Zuhörens
„Wie kann ich mir das vorstellen?“	Detailliertes Nachfragen
„Wie darf ich mir das vorstellen?“	
„Was meinst du damit: ‚ <i>Es verbindet sich</i> ‘?“	Klärung der Rückverweise auf zuvor erwähnte fachliche Entitäten
„Wer sind <i>die anderen</i> ?“	
„Was meinst du mit ‚ <i>Sie reagieren</i> ‘?“	
„Klingt alles gut. Rede nur weiter.“	Motivation
„Wir haben Zeit. Sage einfach, was du denkst.“	

Der chronologische Ablauf des Interviews wurde durch die Stimulationsfragen im Sinne eines Leitfadenterviews festgelegt. Erfolgte nach einer Frage nicht sogleich eine Antwort, wurde mindestens sechs Sekunden im Sinne einer adäquaten *wait time* (vgl. Kapitel 3.3) ohne Kommentare der Autorin gewartet, wodurch Zeit zum Nachdenken eingeräumt wurde. In einigen Fällen wurde bis zu 15 Sekunden gewartet. Erst dann wurde die Frage entweder noch einmal identisch oder mit einer leichten Überformung gestellt.

## **5.5 Ergebnisse zur Sicherung der Reliabilität**

Damit im kategorienbasierten Forschungsprozess ein zuverlässiges Codesystem aufgebaut werden konnte, galt es, die Fragen zur Intersubjektivität zu beantworten, das heißt, mit weiteren Personen in den Austausch zu gehen und ein genaues Inter-coder Agreement einzuholen (Kuckartz & Rädiker, 2019). Das Einhalten der Gütekriterien während des gesamten Forschungsprozesses sicherte sowohl ein zuverlässiges Codesystem als auch Transparenz und Reproduzierbarkeit für Dritte (vgl. Kapitel 4.3). Zur Erreichung einer möglichst hohen Zuverlässigkeit von Codezuordnungen (Kuckartz & Rädiker, 2019) wurde die Codierarbeit durch eine Prüfung der Inter-coderreliabilität abgesichert. Die Sicherung der Reliabilität wurde durch die Codierung mit nicht nur einem Rater, sondern mit zwei weiteren Ratern erhöht. Die Erstcodierung (Rater 1) wurde von der Autorin, die Zweitcodierung (Rater 2) von einer Hochschullehrperson der Fachdidaktik Chemie und die Drittcodierung (Rater 3) von einer Hochschullehrperson der Fachdidaktik Deutsch nach intensiver Einschulung durchgeführt. Schließlich wurde die Intracoderreliabilität bestimmt (Mayring, 2015).

### **5.5.1 Codegenese**

Die Leitlinien zur Codierung basieren auf den definierten Abstraktionsniveaus nach Mayring (vgl. Kapitel 4.2, Tabelle 10 und Tabelle 11). Während dieser Arbeitsphase mit den Interratern wurden die Transkripte gemeinsam codiert und gesetzte Codes besprochen. In der Anfangsphase der Codegenese wurden gemäß ausformulierter Abstraktionsniveaus primäre Definitionen für Codes vereinbart und erste Codieranweisungen formuliert. Es wurden Codes zum Codesystem hinzugefügt, paraphrasiert, subsumiert und verworfen. Wesentliche Aufgabe aller Rater war es, die Defini-

tionen der einzelnen Codes auf identischen Ebenen zu halten, das heißt, zu flache und zu tiefe Codierungen zu identifizieren und auf ein stringentes, für alle Codierungen gleiches Abstraktionsniveau zu bringen. In der Folge wurden auch Ankerbeispiele für alle Codes definiert. Inhaltliche Diskrepanzen unter den Ratern hinsichtlich der Codieranweisungen wie auch der Benennung von Codes wurden in physischen wie auch in Online-Meetings diskursiv aufgelöst.

Die gesamte Intercoderarbeit wurde schriftlich festgehalten. In der Endphase wurden insbesondere die Trennschärfe der Codes und die Nivellierung aller Codierungen hinsichtlich ihrer Tiefe bewertet, damit ein zuverlässiges Codesystem geschaffen werden konnte. Alle fachlichen und (fach-)sprachlichen Entscheidungen zur Genese der Codes wurden mit allen Ratern diskursiv gefällt und in einem Codierleitfaden zusammengeführt.

### **5.5.2 Inter- und Intracoderreliabilität**

Im Zuge der Intercoderreliabilitätsprüfung bearbeiteten alle drei Rater insgesamt sechs Transkripte (7 % des Gesamtmaterials) unabhängig voneinander und codierten gemäß des gemeinsam vereinbarten Codesystems. Es galt zu überprüfen, ob die Codierungen der einzelnen sinntragenden Codiereinheiten in den jeweiligen Transkripten mit jenen der Autorin übereinstimmten. Im nächsten Schritt wurde die Interraterübereinstimmung überprüft und Cohens Kappa als zufallskorrigiertes Maß gewählt (Brennan & Prediger, 1981). Die Grundidee derartiger Koeffizienten besteht darin, die Übereinstimmung um jenen Anteil zu reduzieren, den man bei einer zufälligen Zuordnung von Codes zur Codeeinheit erhalten würde (vgl. Kapitel 5.5.2). In MAXQDA wird für diesen Zweck der Koeffizient Kappa  $\kappa$  (Brennan & Prediger, 1981) herangezogen. Kappa kann gemäß einer Bewertungsskala (Landis & Koch, 1977) eingeordnet werden. Tabelle 17 definiert Vorschläge für Bereichsdefinitionen für  $\kappa$ .

Tabelle 17: Bereichsdefinitionen für  $\kappa$  (adaptiert Landis & Koch, 1977)

<i>Grad</i>	<i>Übereinstimmung</i>
< 0,0	schlecht
$0,1 \leq \kappa \leq 0,20$	etwas
$0,21 \leq \kappa \leq 0,4$	ausreichend
$0,41 \leq \kappa \leq 0,6$	mittelmäßig
<b><math>0,61 \leq \kappa \leq 0,8</math></b>	beachtlich
<b><math>0,81 \leq \kappa \leq 1</math></b>	(fast) vollständig

Da die Rater in 89 % bzw. 80 % der Fälle ein übereinstimmendes Urteil abgegeben haben, kann die Übereinstimmung mit Rater 2 und Rater 3 per Definition als *beachtlich* bzw. *fast vollständig* bewertet und als solides Zwischenergebnis dargestellt werden (vgl. Tabelle 19). Außerdem wurde eine Intracoderreliabilität (Mayring, 2015; Müller-Benedict, 2019) sieben Monate nach Abschluss der Analyse durchgeführt. Es wurde ein Dokument von der Autorin erneut codiert. Die Prüfung ergab einen  $\kappa$ -Wert von 0,70; ein Wert, der nach Landis und Koch (1977) als *beachtlich* eingestuft wird (vgl. Tabelle 18).

Diese Prüfung hat die notwendigen Anforderungen an das Codesystem positiv bestätigt. Das als zuverlässig einzustufende Codesystem als zentrales Ergebnis ist der intensiven diskursiven Konsensfindung in der Arbeitsgruppe über den langen Zeitraum geschuldet und hat die erforderliche Reliabilität her- und festgestellt.

Tabelle 18: Koeffizient  $\kappa$  zur Überprüfung der Intracoderreliabilität (N = 1)

		Rater 1		
		1	0	
Rater 1'	1	a = 31	b = 3	34
	0	c = 8	0	8
		39	3	42

$$P(\text{observed}) = P_o = a / (a + b + c) = 0,74$$

$$P(\text{chance}) = P_c = \text{Anzahl der Codes} / (\text{Anzahl der Codes} + 1)^2 = 0,12$$

$$\text{Kappa} = (P_o - P_c) / (1 - P_c) = \mathbf{0,70}$$

Tabelle 19:  $\kappa$ -Koeffizienten zur Überprüfung der Inter- und Intracoderreliabilität

Transkript Nr.	$\kappa$ Rater 1 + 2	$\kappa$ Rater 1 + 3	$\kappa$ Rater 1 + 1'
<b>Intercoderreliabilität</b>			
21	0,89	0,70	
36	0,92	0,95	
37	1,00	0,89	
39	0,72	0,55	
74	0,86	0,78	
85	0,85	0,80	
Mittelwert	<b>0,89</b>	<b>0,80</b>	
<b>Intracoderreliabilität</b>			
39	-	-	<b>0,70</b>

Wie in Tabelle 19 ersichtlich ist, zeigen sowohl Inter- als auch Intracoderreliabilität akzeptable Werte und die Reliabilität. Das generierte Codesystem steht für die Datenauswertung reliabel zur Verfügung.

## 6 Datenauswertung und Ergebnisse

Nach erfolgter Transkription der Audiodateien waren die erhaltenen Daten zur Analyse bereit. Die Daten wurden mithilfe eines digitalen Auswertungsprogrammes bearbeitet, damit sodann die Ergebnisse effizient und strukturiert dargestellt werden konnten. Vor der Auswertung der Daten wurde ein Vergleich zwischen zwei digitalen Auswertungsprogrammen, QCMap (Association for Supporting Qualitative Research ASQ, 2020) und MAXQDA (VERBI Software, 2020) angestellt. QCMap ist eine webbasierte, interaktive Software und kostenfrei verfügbar. QCMap wurde für die Differenzierung der Codeebenen (vgl. Kapitel 4.2, Tabelle 10) in der vorliegenden Arbeit verwendet und in diesem Teilbereich als hilfreich erachtet. Die Wahl zur Gesamtauswertung der Daten fiel dennoch auf die Software MAXQDA, da alle relevanten Funktionen (Transkription, Analyse) sowie die finale Datendarstellung für die vorliegende Arbeit optimal von einer Oberfläche erarbeitet werden konnten.

### 6.1 Überblick über die Ergebnisdarstellung

Zentrales Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist das Codesystem, das die Identifikation und die regelgeleitete, nominalskalierte Kategorisierung von (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten und Strategien im verbalen Diskurs von Lernenden (Forschungsfrage 1 und Forschungsfrage 2) und die Verteilung dieser Merkmale in der Population (Forschungsfrage 3) abbildet.

Das Codesystem stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; es spiegelt die dominant aufgetretenen (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten der untersuchten Population wider, die sodann als Hauptcodes mit differenzierten Subcodes definiert wurden. Die Auswahlentscheidung für trennscharfe Codes hinsichtlich (fach-)sprachlicher Schwierigkeiten und sprachlicher Strategien war ein zirkulärer Prozess, die Kriterien hinsichtlich des Vorgehens wurden konstant nachgeschärft und verdichtet bzw. flache und tiefe Codierung wurde immer wieder neu bewertet. Der Gesamtprozess ist in einem eigenen Protokoll verschriftlicht und wurde laufend mit beiden Fachdidaktikerinnen in physischen und Online-Meetings akkordiert.

Ziel der induktiv-deduktiven Analyse war es, Codes, die sich gegenseitig ausschließen und mit Trennschärfe unter Einhaltung der Gütekriterien definiert werden konn-

ten, sowohl direkt aus den Daten heraus als auch theoriegestützt zu generieren. Die Analyse wurde einer Reliabilitätsprüfung (vgl. Kapitel 5.5.2) unterzogen, damit anschließend die erhaltenen Daten ausgewertet werden konnten. Die Ergebnisse werden laut Tabelle 20 dargelegt.

Tabelle 20: Übersicht über die Ergebnisdarstellung

<i>Kapitel</i>	<i>Inhalt</i>	<i>Inhalt im Detail</i>
6.2	Codesystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Überblick über das Codesystem</li> </ul>
6.3 bis 6.5	Codes und Subcodes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Definitionen aller Codes</li> <li>▪ Erläuterung von Beispielen als Fließtext anhand von je zwei bis vier Beispielen</li> </ul>
6.6	Häufigkeiten in Bezug auf Interviews	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dokumentation der mindestens einmaligen Sichtung eines Codes pro Interview</li> </ul>
6.7	Häufigkeiten in Bezug auf Gesamtcodierungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Numerischer Überblick über alle gesetzten Codierungen</li> <li>▪ Codematrix: differenzierte Dokumentation aller gesetzten Codierungen in allen Interviews als Matrix</li> </ul>

## 6.2 Das Codesystem

Zentrales Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung des Codesystems, das die beobachteten (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten und sprachlichen Strategien der Lernenden abbildet. Diese lassen sich in drei große Bereiche einteilen: Problematische Verbindung zwischen Bezugs- und Verweisformen (*Verbale Verschleierung*), Problematische Wechsel zwischen den chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy und ein Unschärfeproblem mit dem Elementbegriff (vgl. Tabelle 21). Der Hauptbereich *Problematische Wechsel zwischen den chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy* eröffnete unerwartete Kategorien, die sich erst bei Durchsicht des Materials ergaben. Damit dieser Hauptbereich theoretisch präziser gefasst werden konnte, wurde er nach einem deduktiven Ansatz weiter differenziert, da die Betrachtungsebenen nach Mahaffy in der Literatur klar definiert sind. Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit des Codesystems gestellt; es repräsentiert die in der untersuchten Population dominant aufgetretenen (fach-)sprachlichen Strategien und Schwierigkeiten.

Tabelle 21: Hauptbereiche des erhaltenen Codesystems

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Problematische Verknüpfung zwischen Bezugs- und Verweisformen (<i>Verbale Verschleierung</i>)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Problematischer Wechsel zwischen <i>allen</i> chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy: Zwischen <i>Teilchen-Lebenswelt</i>, <i>Teilchen-Symbol</i>, <i>Stoff-Teilchen</i>, <i>Stoff-Lebenswelt</i>, <i>Symbol-Lebenswelt</i>, <i>Symbol-Stoff</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unschärfeproblem Elementbegriff</li> </ul>

Tabelle 22 gibt einen grafischen Gesamtüberblick mit Kurzerläuterungen der nun folgenden detaillierten Definitionen und Beispielen zum Codesystem der Studie.

Tabelle 22. Übersicht über das Codesystem mit kurzer Erläuterung

Verbale Verschleierung	Problematische Wechsel zwischen allen chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy	Unschärfeproblem Elementbegriff															
<p>Verweiswort erlaubt <i>keine klare Referenz</i> auf einen chemischen Fachbegriff</p> <p>↓</p> <p>Ist eine <i>Überprüfung</i> der Referenz durch Rückfrage möglich?</p> <p>↓</p> <table border="1"> <tr> <td>NEIN</td> <td>JA</td> <td>JA</td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td>↓</td> <td>↓</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Korrektes Bezugswort?</td> <td>Inkorrektes Bezugswort?</td> </tr> <tr> <td></td> <td>↓</td> <td>↓</td> </tr> <tr> <td>Allgemeine Verschleierung</td> <td>Positive Verschleierung</td> <td>Negative Verschleierung</td> </tr> </table>	NEIN	JA	JA	↓	↓	↓		Korrektes Bezugswort?	Inkorrektes Bezugswort?		↓	↓	Allgemeine Verschleierung	Positive Verschleierung	Negative Verschleierung		<p>Terminus <i>Element</i> als pauschaler Platzhalter für andere Fachbegriffe</p>
NEIN	JA	JA															
↓	↓	↓															
	Korrektes Bezugswort?	Inkorrektes Bezugswort?															
	↓	↓															
Allgemeine Verschleierung	Positive Verschleierung	Negative Verschleierung															

Die Untersuchung ergab ein Codesystem mit fünf Codegruppen (vgl. Abbildung 9), die die (fach-)sprachlichen Herausforderungen der Population repräsentieren. Die Hauptcodes werden als *Allgemeine Verschleierung*, *Positive Verschleierung*, *Negative Verschleierung*, *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* und *Unschärfeproblem Elementbegriff* bezeichnet. Die genauen Erläuterungen zu den Hauptcodes sind den nun folgenden Kapiteln zu entnehmen.

-  **Codesystem**
- > ●  Allgemeine Verschleierung
- > ●  Positive Verschleierung
- > ●  Negative Verschleierung
- > ●  Problematische Wechsel der Konzeptebenen
- > ●  Unschärfeproblem Elementbegriff

Abbildung 9: Generierte Hauptcodes (eigener Screenshot aus MAXQDA)

Im Zuge der Analyse wurden insgesamt 12 Subcodes generiert und den Hauptcodes zugeordnet (vgl. Abbildung 10). Dem Code *Allgemeine Verschleierung* sind zwei Subcodes zugeordnet, die nach den gesichteten Verweiswörtern bzw. Pronomen benannt sind: *sie* und *sonstige Platzhalter*. Das Pronomen *sie* wurde signifikant häufiger gesichtet als jene Verweiswörter, die unter *sonstige Platzhalter* subsumiert wurden. Aus diesem Grund wurde ein eigener Subcode ausdifferenziert. Unter dem Code *sonstige Platzhalter* wurden Verweisformen wie Pronomen, Indefinitpronomen oder Adverbien wie zum Beispiel *er/es, der/die/das, beide, andere, jede, diese, eine, eins/zwei/drei* zusammengeführt. Die beschriebenen Subcodes sind für die Codegruppen *Positive Verschleierung* und *Negative Verschleierung* exakt gleich definiert.

Der Hauptcode *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* besitzt sechs Subcodes: *Teilchen–Lebenswelt, Teilchen–Symbol, Stoff–Teilchen, Stoff–Lebenswelt, Symbol–Lebenswelt* und *Symbol–Stoff*.

Der Hauptcode *Unschärfeproblem Elementbegriff* besitzt keine Subcodes.

-  **Codesystem**
- ▼ ●  Allgemeine Verschleierung
  -  sie
  -  sonstige Platzhalter
- ▼ ●  Positive Verschleierung
  -  sie
  -  sonstige Platzhalter
- ▼ ●  Negative Verschleierung
  -  sie
  -  sonstige Platzhalter
- ▼ ●  Problematische Wechsel der Konzeptebenen
  -  Teilchen-Lebenswelt
  -  Teilchen-Symbol
  -  Stoff-Teilchen
  -  Stoff-Lebenswelt
  -  Symbol-Lebenswelt
  -  Symbol-Stoff
- > ●  Unschärfeproblem Elementbegriff

Abbildung 10: Generierte Haupt- und Subcodes (eigener Screenshot aus MAXQDA)

Die Ergebnisse werden nach der Beschreibung und Definition der Hauptcodes anhand ausgewählter, repräsentativer Beispielcodierungen jedes einzelnen Subcodes dargestellt. Es werden pro Subcode zwei bis drei Beispiele angeführt. Codes mit mehreren Beispielen sollen die besonderen Aspekte des jeweiligen Merkmals beleuchten. Schließlich repräsentieren einige Beispiele Codierungen mit kürzeren Redebeiträgen; deswegen wurden auch hier mehr als zwei Beispiele angeführt.

Jedes angeführte Beispiel repräsentiert einen Code. Weitere, durchaus präzise Codierungen in den einzelnen Beispielen sind zur Wahrung der Übersicht in aller Regel nicht hervorgehoben. An besonderen Stellen weicht die Autorin von dieser Regel ab, um eine zweite, besonders interessante Codierung dennoch abzubilden. Zur besseren Übersicht wird lediglich die sinntragende Codiereinheit und nicht die gesamte, teilweise sehr lange Antwortsequenz mit der zugehörigen Stimulationsfrage angezeigt. Die in runden Klammern angeführten Punkte stellen die Anzahl der Sekunden dar, in denen nicht gesprochen wurde (Kuckartz & Rädiker, 2019). Das der verbalen

Äußerung vorangestellte „B“ bzw. „I“ steht für „Befragte Person“ und „Interviewende Person“, unterstrichene Begriffe sind stark betonte Termini im Gespräch.

### 6.3 Die problematische Verbindung zwischen Verweis- und Bezugswort (*Verbale Verschleierung*)

Im Rahmen der Datenauswertung konnten drei Hauptcodes zur *verbalen Verschleierung* identifiziert werden:

- Die Überprüfung des Verweiswortes war im Zuge des Gesprächs nicht möglich (Code *Allgemeine Verschleierung*).
- Das Verweiswort konnte durch Rückfrage positiv bestätigt werden, das heißt, es wurde ein fachlich korrektes Bezugswort von Lernenden intendiert (Code *Positive Verschleierung*).
- Das Verweiswort wurde durch Rückfrage negativ bestätigt, das heißt, das Verweiswort ergab keine Referenz auf ein fachlich korrektes Bezugswort (Code *Negative Verschleierung*).

#### 6.3.1 Hauptcode *Allgemeine Verschleierung* (VA)

Der Hauptcode *Allgemeine Verschleierung* (vgl. Abbildung 11) markiert Verweiswörter, die keinen klaren Rückverweis auf einen zuvor erwähnten chemischen Fachbegriff in der sinntragenden Codiereinheit darstellen. Der Gesprächsverlauf erlaubte nämlich nicht immer die Klärung aller unklaren Verweiswörter, was nun mit der Codegruppe *Allgemeine Verschleierung* abgebildet wird; es konnte keine ständige Rückversicherung stattfinden.

-  Allgemeine Verschleierung
  -  sie
  -  sonstige Platzhalter

Abbildung 11: Übersicht über die Codegruppe *Allgemeine Verschleierung* (eigener Screenshot aus MAXQDA)

Der Code *Allgemeine Verschleierung* definiert sich also durch das Fehlen der klaren, stringenten Referenz eines Verweiswortes auf eine zuvor erwähnte fachliche Entität,

das heißt, das Verweiswort „verschleiert“ einen möglichen chemischen Fachinhalt. Die sprachliche Strategie der *Verbalen Verschleierung* (Seidl et al., 2022) ist problematisch, da kein eindeutiges chemisches Fachwort bzw. eindeutiges Bezugswort im Gespräch präsent ist. Die fachliche Richtigkeit ist demzufolge fraglich. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen Beispiele zum Codebereich *Allgemeine Verschleierung*. Die fettgedruckten Platzhalter zeigen keinen klaren Rückverweis auf einen stringenten chemischen Fachbegriff.

**B:** Es bedeutet, dass sie eben, jeweils diese Atome benutzen, ähm, Elektronen benutzen, um in den Edelgaszustand zu kommen. Also, wenn jetzt zum Beispiel (..) Wasserstoff braucht noch eines und dann teilen **die** sich das eben. (19W, Pos. 12)

Abbildung 12: *Allgemeine Verschleierung* mit dem Subcode *sonstige Platzhalter*. Stimulationsfrage B („Was bedeutet *Elektronen abgeben*, wenn man von der Ionenbindung spricht?“)

**B:** Sauerstoff. Das will ja Elektronen aufnehmen, um in den Edelgaszustand zu kommen. Und deswegen schnappt sie sich vom anderen Sauerstoff (...), ähm, Atom jetzt zwei Elektronen. Das will ja jetzt aber auch zwei Elektronen haben. Und deswegen nehmen sie sich **das**, verbinden sie sich circa so. Wow, ich weiß nicht, wie ich es erklären soll. (46W, Pos. 41)

Abbildung 13: *Allgemeine Verschleierung* mit dem Subcode *sonstige Platzhalter*. Stimulationsfrage E („Was ist eine Doppelbindung und wie kommt sie zustande?“).

#### 6.3.1.1 Subcode *Allgemeine Verschleierung/sie*

Es folgen repräsentative Beispiele aus diesem Codebereich. Es sei darauf hingewiesen, dass alle Stimulationsfragen in Kapitel 5.2 ersichtlich sind. Abbildung 14 zeigt eine *Allgemeine Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Es ist unklar, ob der Schüler „Atome“ oder „Stoffe“ meinte bzw. sogar ein gänzlich anderes Bezugswort intendiert war.

**B:** Also, die Atome sind dann fröhlich, sag ich einmal so. Und wenn man stabil ist, dann (.....) sind die Stoffe halt, die, mit denen **sie** halt verbunden haben, sind dann stabiler und fester und halt besser, weiß nicht. (35M, Pos. 6)

Abbildung 14: *Allgemeine Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimmulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“)

Abbildung 15 zeigt ein weiteres Beispiel der Verwendung des Verweiswortes *sie*. Es existiert kein Bezug zu einem zuvor erwähnten oder klar intendierten chemischen Fachbegriff. Das Beispiel zeigt die Problematik einer fehlenden inhaltlichen Kohärenz auf, was die Doppelbindung bzw. eine allgemeine Bindigkeit (Dreifachbindung) erläutert.

**I:** Gut. Wenn wir noch einen Schritt weitergehen, können wir fragen: „Was ist eine Doppelbindung und wie kommt die zustande?“

**B:** Die Doppelbindung ist auch eine Bindung, wenn **sie** sich zusammen, in einer Hülle, halt zusammenzählen. Da gibt es dann verschiedene Doppelbindungen. Halt, es gibt halt Doppelbindung oder auch, wenn sich drei verbinden. Und ja. (19M, Pos. 23–24)

Abbildung 15: *Allgemeine Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimmulationsfrage E („Was ist eine Doppelbindung und wie kommt sie zustande?“)

#### 6.3.1.2 Subcode *Allgemeine Verschleierung/sonstige Platzhalter*

Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen weitere ungeklärte Sachverhalte auf, die unter anderem mit dem Platzhalter *das* verschleiert verschleiert sind. Die verwendeten Verweisformen zeigen keine stringente Referenz auf einen chemischen Fachbegriff. Eine Bestätigung hinsichtlich eines Bezugsworts bleibt bei der *Allgemeinen Verschleierung* per Definition ungeprüft.

**B:** Sauerstoff. Das will ja Elektronen aufnehmen, um in den Edelgaszustand zu kommen. Und deswegen schnappt sie sich vom anderen Sauerstoff (...), ähm, Atom jetzt zwei Elektronen. Das will ja jetzt aber auch zwei Elektronen haben. Und deswegen nehmen sie sich **das**, verbinden sie sich circa so. Wow, ich weiß nicht, wie ich es erklären soll. (46W, Pos. 41)

Abbildung 16: *Allgemeine Verschleierung* mit dem Subcode *sonstige Platzhalter*. Stimulationsfrage E („Was ist eine Doppelbindung und wie kommt sie zustande?“).

**I:** Wir starten ganz einfach. Ich möchte dich gerne fragen: „Warum binden sich Atome überhaupt?“

**B:** Warum. Weil sie, also, manche bestehen ja aus, zum Beispiel Metall besteht aus Metall plus Metall und **das** ist ja dann ein Metallgitter. Und, ähm, ja, die tun sich halt immer zusammen so und dann entsteht halt ein Metallgitter oder irgendwie so zum Beispiel. (23M, Pos. 1–4)

Abbildung 17: *Allgemeine Verschleierung* mit dem Subcode *sonstige Platzhalter*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“)

### 6.3.2 Hauptcode *Positive Verschleierung* (V+)

Die Codegruppe *Positive Verschleierung* (vgl. Abbildung 18) besitzt, wie eben schon dargestellt, auch die Subcodes *sie* und *sonstige Platzhalter*. Codes der Gruppe *Positive Verschleierung* wurden eingesetzt, wenn eine Proform zuerst nicht eindeutig einer zuvor erwähnten fachlichen Entität zugeordnet, jedoch der verschleierte Sachverhalt nach Rückfrage positiv (korrektes Bezugswort) geklärt werden konnte.

-  Positive Verschleierung
  -  sie
  -  sonstige Platzhalter

Abbildung 18: Übersicht über die Codegruppe *Positive Verschleierung* (eigener Screenshot aus MAXQDA)

Diese Rückversicherung stellt eine zwingende Bedingung für die Codegruppe dar und unterscheidet sich klar von der Codegruppe *Allgemeine Verschleierung*, die kei-

ne Beweisführung bzw. keine Rückfrageoption der verwendeten Verweisformen zulässt. Die Codes aus der Gruppe *Positive Verschleierung* wurden demnach ausschließlich gesetzt, wenn

- eine Proform im sinntragenden Segment gesichtet wurde, die nicht stringent auf eine zuvor erwähnte fachliche Entität referiert, UND
- der Beweis der korrekten Referenz durch die mitcodierte Rückfrage der Autorin gekennzeichnet ist UND
- eine klare Rückversicherung hinsichtlich der *korrekten* Referenz zu einem chemischen Bezugswort sodann überprüft werden konnte.

#### 6.3.2.1 Subcode *Positive Verschleierung/sie*

Die nun folgenden repräsentativen Beispiele zeigen Codierungen mit beiden Subcodes (vgl. Abbildung 19 bis Abbildung 23). Zur Wahrung der besseren Übersicht sind wiederum keine anderen präsenten Codierungen markiert.

**I:** Ok, und was ist dann das Ergebnis? Oder warum wird das gemacht?

**B:** Damit **sie** eine volle Schale bekommen.

**I:** Wer ist jetzt „sie“?

**B:** Also, die **Atome**, das Atom. (24M, Pos. 17–20)

Abbildung 19: *Positive Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz *Ionen sind geladene Teilchen?*“)

**I:** Das heißt, „sie teilen sich die Elektronen“, wie kann man das verstehen?

**B:** (.....) **Sie** binden sich sozusagen?

**I:** Ja, und wer ist da „sie“ in deinem Satz?

**B:** Die **Atome** binden sich. (34W, Pos. 29–32)

Abbildung 20: *Positive Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“).

**I:** Gut, mein Lieber. Du, wir fangen ganz einfach an, ich bin so neugierig. „Warum binden sich Atome überhaupt?“

**B:** Sie möchten alle, ähm, ähm, acht, ähm, acht Außenelektronen in der letzten Schale haben.

**I:** Ok. Und warum?

**B:** (...) Weiß ich jetzt nicht.

**I:** Vielleicht fällt dir ja irgendetwas ein. Warum ist das wichtig?

**B:** Ah, weil **sie** dann den Edelgaszustand erreichen.

**I:** Ok. Und warum ist der so wichtig?

**B:** (...) Weil sie voll sind?

**I:** Ja. Wer ist jetzt „sie“ in deinem Satz?

**B:** Weil die **Atome** dann voll sind in der letzten Schale. (70M, Pos. 1–10)

Abbildung 21: *Positive Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“).

#### 6.3.2.2 Subcode *Positive Verschleierung/sonstige Platzhalter*

Die nun folgenden Beispiele (vgl. Abbildung 22 und Abbildung 23) zeigen weitere Platzhalter auf, die durch Überprüfung der Referenz auf einen korrekten Bezugsterminus schließen ließen.

**B:** Mit, also, das, die Wasserstoffatome, genau, Sauerstoff ist generell egoistischer und deswegen zieht es sich mehr Elektronen zu sich, und sich, und den beiden Wasserstoffatomen bleibt nicht **so viel** übrig.

**I:** Wovon?

**B:** Von den **Elektronen**. (39M, Pos. 8–10)

Abbildung 22: *Positive Verschleierung* mit dem Subcode *sonstige Platzhalter*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“)

**I:** Gut. Zweite Frage. Wenn wir bei der Atombindung sind, sagt man oft: „Atome teilen sich die Elektronen.“ Wie kann man das verstehen?

**B:** Also, so gesagt, als, ähm, die, ähm, wenn ein Elektron keine volle Valenzschale hat, um eine volle Valenzschale zu erreichen, dass, sie teilen sich die Elektronen auf. Damit **beide** eine volle Valenzschale haben.

**I:** Und wer ist jetzt „beide“ in deinem Satz?

**B:** Also, **die beiden Atome**. Also, wenn man ein Atom hat und ein anderes, dass (..) beide die volle Valenzschale haben. (9W, Pos. 9–12)

Abbildung 23: *Positive Verschleierung* mit dem Subcode *sonstige Platzhalter*. Stimmulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“)

### 6.3.3 Hauptcode *Negative Verschleierung* (V-)

Die Codegruppe *Negative Verschleierung* (vgl. Abbildung 24) besitzt wiederum die Subcodes *sie* und *sonstige Platzhalter*. Codes der Gruppe *Negative Verschleierung* wurden eingesetzt, wenn ein Verweiswort nicht eindeutig einem Bezugswort zugeordnet und nach Rückfrage ein inkorrektes Bezugswort identifiziert werden konnte. Das bedeutet, dass der Rückverweis mit dem verwendeten Platzhalter nicht auf den richtigen chemischen Fachbegriff erfolgte.

-  Negative Verschleierung
  -  sie
  -  sonstige Platzhalter

Abbildung 24: Übersicht über die Codegruppe *Negative Verschleierung* (eigener Screenshot aus MAXQDA)

Die Codes aus der Gruppe *Negative Verschleierung* wurden somit ausschließlich gesetzt, wenn

- eine Proform im sinntragenden Segment gesichtet wurde, die nicht stringent auf eine zuvor erwähnte fachliche Entität referiert, UND
- der Beweis der inkorrekten Referenz durch die mitcodierte Rückfrage der Autorin gekennzeichnet ist UND

- eine klare Rückversicherung hinsichtlich der *inkorrekten* Referenz zu einem chemischen Bezugswort bestätigt werden konnte.

### 6.3.3.1 Subcode *Negative Verschleierung/sie*

Abbildung 25 bis Abbildung 31 zeigen Beispiele aus diesem Codebereich. Werden die Lernenden auf ihre verwendeten Platzhalter durch Rückfrage angesprochen, werden die fachliche Diskrepanz und der inkorrekte Rückverweis bestätigt; das heißt, nach erfolgter Rückfrage stellte sich ein falsches fachliches Bezugswort heraus, die Bedingung für diese Codegruppe wurde erfüllt.

**I:** Die dritte Frage war: „Was bedeutet denn der Satz: Ionen sind geladene Teilchen?“  
**B:** Ähm, ja (.....) Also, ich verstehe den Satz nicht.  
**I:** Also, „Ionen sind geladene Teilchen.“ Sie haben eine Ladung. Was könnte das bedeuten?  
**B:** Also, so **sie** sind Leiter?  
**I:** Wer?  
**B:** **Die Ionenbindung.** (53W, Pos. 17–22)

Abbildung 25: *Negative Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: Ionen sind geladene Teilchen?“).

**I:** Wie kommen sie zur Ladung, diese **Ionen**?  
**B:** Indem **sie** die Elektronen abgeben oder aufnehmen.  
**I:** Wer? Wer ist jetzt „sie“? Du hast das jetzt so schön formuliert.  
**B:** **Die Elemente.** (82M, Pos. 43–46)

Abbildung 26: *Negative Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: Ionen sind geladene Teilchen?“).

**I:** Gut. Wir starten nämlich ganz, ganz einfach, und ich frage dich: „Warum binden sich **Atome** überhaupt?“

**B:** Ähm (.....) Weil **sie** Elektronen abgeben.

**I:** Wer?

**B:** (...) Das **Element**. (50W, Pos. 1–4)

Abbildung 27: *Negative Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“)

**B:** Also, bei der Atombindung ist es eben so, dass, **sie** wollen auch wieder den vollen, die volle Valenzschale. Und, ähm.

**I:** Wer?

**B:** Der **Stoff**, also die **Nichtmetalle**. (76W, Pos. 36–38)

Abbildung 28: *Negative Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“)

**I:** Ok. Gut. Das heißt, „Elektronen abgeben“ heißt bei der Ionenbindung? Noch einmal?

**B:** Dass **sie** positiv werden.

**I:** Wer?

**B:** Die, ähm, die **Nichtmetalle**. (70M, Pos. 25–28)

Abbildung 29: *Negative Verschleierung* mit dem Subcode *sie*. Stimulationsfrage B („Was bedeutet *Elektronen abgeben*, wenn man von der Ionenbindung spricht?“)

### 6.3.3.2 Subcode *Negative Verschleierung/sonstige Platzhalter*

Abbildung 30 bis Abbildung 31 zeigen Beispiele aus diesem Codebereich. Werden die Lernenden auf ihre verwendeten Platzhalter durch Rückfrage angesprochen, werden die fachliche Diskrepanz und der inkorrekte Rückverweis bestätigt, das heißt, nach erfolgter Rückfrage stellte sich ein falsches fachliches Bezugswort heraus, die Bedingung für diese Codegruppe wurde erfüllt.

**B:** Also, bei der Atombindung ist halt so, dass eben, wenn ein Elektron genommen wird, dass eben nicht **beide** auf den, in den Edelgaszustand kommen, deswegen teilen sie sich die Elektronen, damit **beide** einen Edelgaszustand haben.

**I:** Und „beide“ sind wer?

**B:** **Zwei Stoffe.** (20M, Pos. 26–28)

Abbildung 30: *Negative Verschleierung* mit dem Subcode *sonstige Platzhalter*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“).

**I:** Ok. Schau, wir schauen schon zur drittletzten Frage. Ich frage dich – und wir kommen schon zur Atombindung: „Was bedeutet denn der Satz: „Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?“ Wie kann man das verstehen? „Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen.“

**B:** (.....) Es ist halt, damit sie **beide** glücklich sind, teilen sie sich halt die (...) Atome. Damit beide sozusagen die gewünschte Anzahl haben.

**I:** „Beide“. Wer ist „beide“, wen meinst du damit?

**B:** Ja, **zwei Nichtmetalle.** (69W, Pos. 31–38)

Abbildung 31: *Negative Verschleierung* mit dem Subcode *sonstige Platzhalter*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“).

**B:** Wieso, also, das Metall gibt halt sein ganzes Metall halt an einen anderen weiter halt. Und, ähm, ja zum Beispiel wie bei der, ähm, Atombindung, die teilen sich **das** halt irgendwie, also, der eine hat –

**I:** Was teilen sie sich?

**B:** Die **zwei Punkte.** Und wann man das dann zusammentut, gibt es dann, ergibt da dieser Strich dann. (23M, Pos. 6–8)

Abbildung 32: *Negative Verschleierung* mit dem Subcode *sonstige Platzhalter*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“)

## 6.4 Problematische Wechsel zwischen allen chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy

Das Differenzieren aller Wechsel zwischen den chemischen Konzeptebenen in den dargelegten einzelnen Subcodes ist von hoher fachlicher wie auch fachsprachlicher Relevanz, da diese Subcodes die ihnen zugrunde liegenden Fehlvorstellungen detailliert abbilden (vgl. Kapitel 3.2.3). Für die jeweiligen Konzeptebenen wurden folgende Bedingungen in Abstimmung mit beiden Interratern und in Anlehnung an bestehende Literatur definiert (Abels et al., 2018; Fleischer, 2017; Haas & Marohn, 2022; Heimann et al., 2009; Ian, 2021; Johnstone, 2000, 1991; Lück, 2001; Mahaffy, 2006, 2004; Markic & Abels, 2013; Peirce, 1983; Püttschneider & Lück, 2004; Sieve & Bernholt, 2021; Taber, 2013; Talanquer, 2011; Taskin et al., 2017; Thielen-Redlich et al., 2018). Die Codierung entspricht demnach in diesem einen Hauptcode einem deduktiven Zugang nach Mayring (Mayring, 2015).

- **Lebenswelt:** Gemeint ist hier die lebensweltliche Ebene nach Mahaffy. Es werden alle Anthropomorphismen, Animismen und Formulierungen außerhalb der chemischen Fachsprache in diesen Bereich hineinreklamiert. Beispielformulierungen: *Korb von Elektronen, Atome sind glücklich, Atome wollen nicht einsam sein, der Sauerstoff ist egoistisch, Sofazustand, Mickey-Mouse-Atome.*
- **Stoffebene:** Gemeint ist hier die makroskopische, phänomenologische Ebene. Beispielbegriffe: *Salz, Wasserstoff, Nichtmetall, Sauerstoffgas, Wasser.*
- **Teilchenebene:** Gemeint ist hier die submikroskopische Ebene, der diskontinuierliche Aufbau der Materie. Zum Beispiel *Wasserstoffatom, Atom, Ion, Molekül, Elektronen.*
- **Symbolebene:** Das ist die für die Chemie repräsentative, mathematische Ebene. Zum Beispiel H, O<sub>2</sub> oder Begriffe wie *Bindung, Pfeil, Strich, Plus, Minus, Punkt, Kreis*, das Verb *binden* aber auch Präfixe und Indices.

Im Zuge des Durchgangs des Materials wurde die Codegruppe *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* definiert (vgl. Abbildung 33). Sie weist sechs Subcodes auf, die sich aus dem jeweiligen Wechsel der chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy (2006) ableiten. Auf Basis dieses Modells wurden demzufolge die einzelnen Subcodes erstellt.

-  Problematische Wechsel der Konzeptebenen
  -  Teilchen-Lebenswelt
  -  Teilchen-Symbol
  -  Stoff-Teilchen
  -  Stoff-Lebenswelt
  -  Symbol-Lebenswelt
  -  Symbol-Stoff

Abbildung 33: Übersicht über die Codegruppe *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* (eigener Screenshot aus MAXQDA)

Die folgenden Ausschnitte von Redebeiträgen stellen repräsentative Beispiele aus dem gesamten Codebereich *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit allen vorhandenen Subcodes dar.

#### 6.4.1 Subcode *Teilchen–Lebenswelt*

Das erste Beispiel (vgl. Abbildung 34) weist einen problematischen Wechsel zwischen der chemischen Teilchenebene und der Lebenswelt auf. Die Lebenswelt wird durch stark anthropomorphe Attribute in Bezug auf Atome (Teilchenebene) sichtbar.

**I:** Also, die Frage war einfach: „Warum binden sich Atome überhaupt? Haben die nichts Besseres zu tun?“

**B:** Ja, weil es, sie sonst keine volle Valenzschale haben. Und **dann sind sie halt sozusagen traurig oder halt sie fühlen sich allein** und deshalb müssen sie sich binden, damit sie dann volle Valenzschalen haben. (79W, Pos. 5–6)

Abbildung 34: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Lebenswelt*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“).

Auch Abbildung 35 zeigt ein Beispiel der Codierung mit *Teilchen–Lebenswelt*. Der Schüler implementiert stark anthropomorphe Formulierungen in seine Antwort auf die Stimulationsfrage D. Die defizitäre Wortwahl in der sinntragenden Codiereinheit verstärkt die Problematik neben dem hier nicht ausgewiesenen Code *Allgemeine Verschleierung* mit den Verweiswörtern „da“, „sie“, „der“, „alles“, „beides“ und „erste“.

**B:** Bei der Atombindung teilen sich die Atome die Elektronen (murmelt).

**I:** Was könnte das bedeuten?

**B:** Ja, die Atombindung ist halt ein Molekül. Also, es kommt Nichtmetall plus Nichtmetall, ist ein Molekül. Und bei der Atombindung, da teilen sie sich halt, weil der, das erste Atom und das zweite Atom teilen sich halt alles beides, also, der erste sagt ja: „**Ok, ich gebe dir das, dafür gibst du mir das und so.**“ Also, die teilen sich das halt. (23M, Pos. 24–26)

Abbildung 35: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Lebenswelt*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“).

Die Aussage im folgenden Beispiel (vgl. Abbildung 36) zeigt eine nicht sogleich schlüssige Verwendung des Wortes „Sofazustand“ auf. Rückfragen der Autorin in der Schulklasse haben ergeben, dass diese anthropomorphe Formulierung ein „Sich-Ausruhen auf einem Sofa“ ausdrücken soll. Dieser „Sofazustand“ wurde mit dem Zustand eines Energieminimums gleichgestellt.

**B:** Also, sie teilen sich die Elektronen, indem sie halt, ähm, wenn jetzt, ähm, beide noch drei Elektronen brauchen, dann sind die gefangen in dieser Bindung. Und, ähm, sie können sie aber beide nutzen. Das heißt, sie haben beide eine volle Außenschale.

**I:** Und „beide“ – was meinst du damit?

**B:** **Also, beide haben den Sofazustand.** Und sie teilen sich sozusagen die Elektronen, also, sie können beide darauf zugreifen.

(56W, Pos. 30–32)

Abbildung 36: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Lebenswelt*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“).

Abbildung 37 weist die stark vermenschlichten Eigenschaftswörter für Teilchen auf, deren exakte Identifikation jedoch verschleiert bleibt („manche“). Das Beispiel beinhaltet anthropomorphe Formulierungen und zusätzliche (hier nicht markierten) Verschleierungen.

**I:** Was bedeutet denn der Satz „Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen“? (...) „Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen.“

**B:** Ähm, sie, also, ähm (...), sie benutzen, also, sie, ähm (.....), das ist schwer, das kann ich nicht erklären.

**I:** Probiere einfach. Rede einfach so, wie es dir einfällt.

**B:** Also, sie benutzen die Elektronen gemeinsam. **Es gibt halt manche, die sind ein bisschen egoistischer** und nehmen das weg. Ich kann das irgendwie nicht erklären!  
(44W, Pos. 29–32)

Abbildung 37: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Lebenswelt*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“)

Das folgende Beispiel zeigt eine weitere unscharfe Formulierung mit defizitären sprachlichen Strukturen auf (vgl. Abbildung 38). Die Elektronen in einer Schale werden als menschliche „Singles“ beschrieben. Nach Rücksprache mit der Lehrperson wurde diese Vermenschlichung von Elektronenpaaren („Pärchen“) im Sinne der Orbitaltheorie bzw. des Pauli-Prinzips von Atomen übernommen, das heißt, bei gleicher Wellenfunktion besetzen zwei Elektronen das gleiche Orbital (= gepaarte Elektronen, „Pärchen“). Dementsprechend sind ungepaarte Elektronen lebensweltlich als „Singles“ kommuniziert worden.

**I:** Du, warum binden sich Atome überhaupt?

**B:** Ähm, also, so wie bei der molekularen Bindung möchten sie halt so zusammen einen Edelgaszustand erreichen. Ähm, ja. Und ein Edelgaszustand, da wollen sie halt immer eine volle Valenzschale haben. **Und das ist dann halt bequemer, halt dass sie keine Singles sind** (lacht). (81W, Pos. 1–2)

Abbildung 38: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Lebenswelt*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“).

#### 6.4.2 Subcode *Teilchen-Symbol*

Der Subcode *Teilchen–Symbol*, der den problematischen Wechsel der chemischen Konzeptebene von submikroskopischer Ebene und Symbolebene repräsentiert, scheint a priori legitim zu sein, da im Themenbereich der chemischen Bindungen ei-

ne Verwendung von Symbolsprache auf der Teilchenebene unabdingbar ist. Dennoch weist die untersuchte Population problematische Wechsel der genannten Ebenen auf. Das erste Beispiel (vgl. Abbildung 39) dieses Subcodes illustriert die Problematik der Verwendung des Symbolbegriffs „Plus“ und „Minus“ bei einem Erklärungsversuch zur Ionenbindung. Die niederschweligen Formulierungen „Plus“ und „Minus“ als Substitute für Ionen im Ionengitter führen im Rahmen der Rückversicherung zur Offenlegung der problematischen Fehlvorstellungen.

**B:** Also, Ionenbindung, ähm, das ist halt, **da gibt es die Ionen und da sind immer Plus und Minus nebeneinander.**  
**I:** Und was ist „Plus und Minus“?  
**B:** Die, ähm, Protonen und die Elektronen. (12M, Pos. 28–30)

Abbildung 39: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Symbol*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: *Ionen sind geladene Teilchen?*“)

Abbildung 40 illustriert eine Situation, in der das Bindungskonzept als von Elektronen entkoppelte Entität wahrgenommen wird, auf der sich Elektronen bewegen sollen.

**I:** Keine Ahnung? Ok, dann lassen wir es. Wenn wir von der Ionenbindung sprechen, was bedeutet denn „Elektronen abgeben“?  
**B:** Ähm (.....)  
**I:** Ionenbindung. Was dir einmal einfällt. Plaudere doch einfach mal so vor dich hin. Vergiss mich einfach, ich bin gar nicht da.  
**B:** (...) **Also, die Bindung gibt die Elektronen ab.** Ähm (...) (45W, Pos. 5–9)

Abbildung 40: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Symbol*. Stimulationsfrage B („Was bedeutet *Elektronen abgeben*, wenn man von der Ionenbindung spricht?“)

Auch das folgende Beispiel aus Abbildung 41 repräsentiert das Konzept Bindung als von Elektronen entkoppelte Entität, auf der sich Elektronen bewegen sollen.

**B:** Also, Sauerstoff ist, das besteht eben aus zwei Sauerstoffmoleküle, weil, und die sind auch wieder miteinander verbunden. Und die tauschen auch wieder Elektronen aus, aus, die zwei Wasserstoff, ähm, die zwei Sauerstoffmoleküle. Und damit sie halt gegenseitig eben den Sauerstoff bilden, und die sind dann auch wieder verbunden, und (..)

**I:** Und wie kann man sich das vorstellen, dass sie verbunden sind, was meinst du damit?

**B:** Dazwischen ist so ein quasi eine Bahn, wo die Elektronen hin und her (..) gehen, oder sie sind eben wieder verbunden, mit, ja, das, **auf dieser Linie gehen dann die, ähm, Elektronen hin und her** zwischen die zwei Lücken. (78W, Pos. 42–44)

Abbildung 41: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Symbol*. Stimulationsfrage E („Was ist eine Doppelbindung und wie kommt sie zustande?“)

#### 6.4.3 Subcode *Stoff–Teilchen*

Der Subcode *Stoff–Teilchen* zeigt den kritischen Wechsel zwischen der makroskopischen und der submikroskopischen Ebene (Stoff- und der Teilchenebene) in den untersuchten Redebeiträgen auf. Der problematische Wechsel zwischen der Stoff- und der Teilchenebene ist in der Chemiedidaktik als klassisches Zwiedenken präsent (Christen, 1984). Die Trennung dieser Ebenen ist in den in den Schulbüchern angeführten Versionen des Periodensystems der Elemente nicht immer transparent (Abels et al., 2018). Die unklare Darstellung der Ebenen stellt eine beträchtliche Herausforderung für Lernende dar.

Das erste repräsentative Beispiel für den Subcode *Stoff–Teilchen* (vgl. Abbildung 42) illustriert eine in der Population dominant auftretende Ausdrucksweise hinsichtlich der parallelen Verwendung von Begriffen aus makroskopischen und der submikroskopischen Ebene. Es ist ebenso unklar, worauf sich das Pronomen „sie“ bezieht (unmarkierte *Allgemeine Verschleierung/sie*).

**B:** Also, die **Atome** sind dann fröhlich, sag ich einmal so. Und wenn man stabil ist, dann (.....) **sind die Stoffe halt, die, mit denen sie halt verbunden haben**, sind dann stabiler und fester und halt besser, weiß nicht. (35M, Pos. 6)

Abbildung 42: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Stoff-Teilchen*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“). Beispiel 1

Das nächste Beispiel (vgl. Abbildung 43 und Abbildung 44) zeigt die Verwendung von Begriffen aus der Teilchenebene in Kombination mit den stofflich definierten Begriffen „Metall“ oder „Stoff“ auf und stellt eine ausgeprägte Schwierigkeit in der untersuchten Population dar.

**B: Atome gehen Bindungen ein, weil sie kein Metall sind** und somit allein nicht im Edelgaszustand sind. Deswegen binden sich Atome, um einen Edelgaszustand zu erreichen. (15AW, Pos. 2)

Abbildung 43: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Stoff-Teilchen*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“).

**B:** Es ist ja eine Atombindung. **Das bedeutet, dass sich zwei Stoffe die Elektronen teilen.** (15EW, Pos. 2)

Abbildung 44: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Stoff-Teilchen*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“)

#### 6.4.4 Subcode *Stoff-Lebenswelt*

Ein problematischer Wechsel zwischen der lebensweltlichen Ebene und der Stoffebene scheint a priori nicht sofort nachvollziehbar. Die folgenden Beispiele aus der Untersuchung belegen umgangssprachlich etablierte Formulierungen, die jedoch fach- und vor allem bildungssprachlich als unklar einzustufen sind. Mit nur acht Codierungen in der gesamten Population (drei davon wurden in einem Dokument codiert) ist dieser Subcode jedoch von geringerer Relevanz.

Der Schüler aus dem ersten Redebeitrag (vgl. Abbildung 45) drückt die höhere Elektronegativität des Sauerstoffatoms stark anthropomorph aus. Problematisch dabei ist

die Absenz fachsprachlicher Begriffe zur sauberen Artikulierung der Erklärung der kovalenten Bindung.

**B:** Zum Beispiel, ähm, ok, das ist jetzt eine Atombindung, *also, H<sub>2</sub>O, Sauerstoff, ist eher egoistisch, zieht mehr Elektronen zu sich*, und die beiden Wasserstoffatome bekommen daher weniger, also, der Sauerstoff ladet sich dann negativ und die beiden Wasserstoffatome positiv, und, ja. (39M, Pos. 6–8)

Abbildung 45: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Stoff–Lebenswelt*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“)

Die Schülerinnen in den folgenden Beispielen (vgl. Abbildung 46 und Abbildung 47) verwenden stark lebensweltliche Formulierungen, um den finalen Energiezustand der Atome im neuen Atomverbund bzw. in der stabilen Moleküleinheit zum Ausdruck zu bringen.

**I:** Ok. Dann können wir schon zur nächsten Frage kommen und ich komme zur Atombindung. Was bedeutet denn der Satz: „Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen“? Was bedeutet das?

**B:** Also, bei der Atombindung gibt es **zwei Nichtmetalle**. Und sie wollen beide im Edelgaszustand wieder kommen. **Und daher teilen sie sich die Elektronen, damit sie beide zugleich in diesen gemütlichen Zustand kommen.** (48W, Pos. 23–24)

Abbildung 46: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Stoff–Lebenswelt*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“)

**I:** Gut. Ähm, gehen wir zur nächsten Bindung, zur Atombindung. Was bedeutet denn der Satz: „Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen“?

**B:** Ähm.

**I:** Also: „Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen.“

**B:** Ja, wenn zum Beispiel bei der Valenzschale, also, da sind nicht alle, so, das, das ist eben das mit diesen Pärchen da. Ähm (...), ähm, also, **wenn zum Beispiel jetzt eines allein ist, dann muss sich das zum Beispiel mit Wasserstoff verbinden, weil das hat auch ein einziges Pärchen, ähm, das hat ein Single.** Und die verbinden sich dann so zusammen, zu einer Atombindung halt. (79W, Pos. 37–40)

Abbildung 47: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Lebenswelt*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“).

#### 6.4.5 Subcode *Symbol–Lebenswelt*

Abbildung 48 zeigt die einzig vorkommende Codierung des Subcodes *Symbol–Lebenswelt*. Er bildet den Wechsel zwischen der symbolischen zur phänomenologischen Ebene ab. Der lebensweltliche Inhalt bezieht sich beim Redebeitrag dieser Schülerin auf die zwei Wasserstofforbitale im H<sub>2</sub>O-Molekül, die als „Mickey-Mouse-Ohren“ beschrieben werden. Nach Rücksprache mit der Lehrperson wurde das Wassermolekül im Rahmen des Unterrichtens der kovalenten Bindung mit einem „Mickey-Mouse-Gesicht“ verglichen, deren „Ohren“ die Atomorbitale der Wasserstoffatome repräsentieren sollen. Die Schülerin griff das anthropomorphe Modell zu ihrer Veran-

schaulichung der Ionenbindung auf. Der Wechsel zur Symbolebene ist in den Ausführungen klar sichtbar.

**B:** Das (...) wird mit (...) ich glaub, mit diesen „Mickey-Mouse-Atomen“ hat uns das der Herr Professor erklärt (lacht).

**I:** Ja, aber wenn wir nur von der Bindung sprechen, wie das überhaupt funktioniert, was ist der Unterscheid zwischen diesen zwei [Bindungen, Anm. der Autorin]?

**B:** Dass die, bei dem Ionengitter ist es ja abwechselnd, weil mit Plus und Minus. **Und bei den Atomen wird ja das Plus an das Minus gehaftet, mit diesem „Mickey-Mouse-Atomen“** (lacht).

**B:** (.....) (4W, Pos. 46–50)

Abbildung 48: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Symbol–Lebenswelt*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: *Ionen sind geladene Teilchen?*“).

#### 6.4.6 Subcode *Symbol–Stoff*

Der nächste Subcode aus dem Bereich *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* veranschaulicht den Wechsel zwischen der symbolischen und der submikroskopischen Ebene. Die Schwierigkeit der parallelen Verwendung dieser beiden chemischen Konzeptebenen in einer sinntragenden Einheit wird mit den folgenden Beispielen demonstriert. Hauptthematik dieses Subcodes stellt die symbolische Darstellung von bindenden oder nichtbindenden Elektronenpaaren dar, wie bei der Darstellung der Bildung von Bindungen zwischen Atomen durch Valenzstrichformeln nach Lewis beschrieben wird (Mortimer et al., 2015). Der unscharfe Wechsel der Konzeptebenen wurde schon in der Vorstudie gesichtet (vgl. Abbildung 49). Der problematische Wechsel und die niederschwellige Formulierung werden im vorliegenden Beispiel durch die Verwendung des Verbs „hat“ verstärkt.

**B:** Die **Atombindung hat zwei Metalle** und **die Ionenbindung hat zwei Nichtmetalle**. (6CM, Pos. 2)

Abbildung 49: *Problematischer Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Symbol–Stoff*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: *Ionen sind geladene Teilchen?*“).

Abbildung 50 und Abbildung 51 zeigen erneut den unscharfen Wechsel von Symbol- und Stoffebene durch die Verwendung des Wortes „sind“ bzw. „ist“. So werden die ohnehin fachlich niederschweligen Formulierungen noch unklarer.

**I:** Dann starten wir einfach mit der Frage: „Warum binden sich Atome überhaupt?“  
**B:** Um den geringsten, ähm, energieärmsten (.....) Also, je energieärmer die Ele-, Teilchen, Elemente sind, umso, ähm, stabiler sind die Stoffe.  
**I:** Ok. Das heißt, wenn sich Atome binden?  
**B:** Also, sie brauchen immer den, also, sie suchen immer den energieärmsten Weg, sich zu binden. Und, ähm, **Atombindungen sind aus einem Nichtmetall und einem Nichtmetall.** (53, Pos. 1–4)

Abbildung 50: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Symbol–Stoff*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“)

**B: Also, bei der Ionenbindung ist es ja die Nichtmetalle und die Metalle.** Und bei der Atombindung, ähm (..), da teilen sich halt die Atome, ähm, die Valenzelektronen, damit sie eine volle Valenzschale haben. Und das ist, das erfolgt bei alle, oder, also bei Nichtmetalle, Metalle und bei, nein. Bei Metalle und Metalle, glaube ich. (11W, Pos. 32)

Abbildung 51: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Symbol–Stoff*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: *Ionen sind geladene Teilchen?*“).

Der Redebeitrag in Abbildung 52 zeigt den Versuch einer Schülerin, über die symbolische Strichformel und die stofflich definierten Begriffe „Chlor“ und „Wasserstoff“ eine Bindungsbildung zu erläutern.

**I:** Ok. Fertig? (lacht). Gut. Danke. Dann sind wir schon bei der vorletzten Frage. Gehen wir zur anderen Bindung, nämlich zur Atombindung. Ich würde wissen wollen: Was bedeutet der Satz: „Bei der Atombindung teilen sich Atome Elektronen?“ Wie kann man sich das vorstellen?  
**B:** Also, Atome kommen ja halt, zusammen. Es ist so komisch, hier zu reden (lacht).  
**I:** Rede nur, passt alles, ist alles gut.  
**B:** Und, ja (...).  
**I:** Also, „bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen.“ Ich sag es noch mal.

**B:** Aha. *Ist es das mit dem, zum Beispiel wieder Chlor und Wasserstoff und dann da sind so die Punkte?* (35W, Pos. 35–40)

Abbildung 52: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Symbol–Stoff*. Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“)

Im letzten Beispiel (vgl. Abbildung 53) wird der Bindungsname („Ionenbindung“) mit der Stoffgruppe („Salze“) gleichgesetzt.

**B:** Also, bei *Ionenbindung, ähm, werden auch Salze genannt*, und, ähm, bei Ionen gibt es das Ionengitter. Und entweder die Ionen sind positiv oder negativ geladen. Und die negativ geladen sind die Anionen, die positiv geladen sind die Kationen. Und, ähm, das ist halt so abwechselnd, also, einmal positiv und negativ, einmal positiv. Und wenn da negativ ist, und auf links und rechts auch positiv. (10M, Pos. 38)

Abbildung 53: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Symbol–Stoff*. Stimulationsfrage B („Was bedeutet *Elektronen abgeben*, wenn man von der Ionenbindung spricht?“)

## 6.5 Unschärfeproblem Elementbegriff

Die vorliegenden Daten belegen, dass der Begriff *Element* die Funktion eines Platzhalters für andere chemische Fachbegriffe einnimmt. Der Terminus *Element* hat jedoch eine klare Bedeutung in der Chemie und kann deshalb nicht als Substitut für andere Begriffe dienen (vgl. Kapitel 3.2.4). Deshalb wurde der Hauptcode *Unschärfeproblem Elementbegriff* generiert. Die angeführten Beispiele illustrieren die Unschärfe des Elementbegriffs in der untersuchten Population, beginnend mit der Verwendung des Terminus *Element* als Platzhalter u. a. für „Atom“, „Teilchen“, „Ion“ oder „Anion“ (vgl. Abbildung 54 bis Abbildung 57).

**B:** Also, wenn es jetzt zum Beispiel eine, ähm, Ionenbindung aus zwei Atomen ist, *Elementen halt*, so meine ich, so können beide auf den ärmsten Zustand kommen. (57M, Pos. 16)

Abbildung 54: *Unschärfeproblem Elementbegriff*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“)

**I:** Ok. Du, was bedeutet denn der Satz „Ionen sind geladene Teilchen?“

**B:** (...) **Also, die Ionen sind eben diese Elemente.** (78W, Pos. 15–16)

Abbildung 55: *Unschärfeproblem Elementbegriff*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet *Ionen sind geladene Teilchen?*“)

Der Redebeitrag im folgenden Beispiel (vgl. Abbildung 56) veranschaulicht eine Anwendung des Begriffs *Element* auf der submikroskopischen Ebene, um einerseits das Entstehen einer Ionenbindung auf submikroskopischer Teilchenebene zu erläutern, andererseits wird der Terminus *Element* auch auf die symbolische Ebene transportiert („Symbol zu erreichen“). Unklar bleibt, welcher Fachbegriff sich hinter „sie“ verbirgt.

**I:** Ok, macht ja nichts. Schauen wir einfach zur weiteren Frage. Und zwar: „Was bedeutet denn „Elektronen abgeben“, wenn wir von der Ionenbindung sprechen?“

**B:** **Ähm, sie helfen damit einem anderen Element eben, das andere, ähm, Symbol zu erreichen,** also, kann man so sagen, so, ja.

**I:** Und wie kann man sich das so ein bisschen im Detail vorstellen?

**B:** Ähm (.....) Nein, weiß ich nicht. (58W, Pos. 13–16)

Abbildung 56: *Unschärfeproblem Elementbegriff*. Stimulationsfrage B („Was bedeutet *Elektronen abgeben*, wenn man von der Ionenbindung spricht?“).

Auch der Redebeitrag im letzten Beispiel (vgl. Abbildung 57) zeigt die problematische Verwendung der Begriffe *Element*, *Atom* und *Stoff*.

**I:** Ok. Das heißt, „die Elektronen abgeben“, was bedeutet das jetzt nur noch einmal, nur dass ich es richtig verstanden habe?

**B:** Also, dass halt, einer gibt halt die Elektronen ab und dann hat, dann hat jeder eine ganze, also eine volle Außenschale.

**I:** Ok, und „der“, was meinst du jetzt damit?

**B:** **Also, jeweils von die zwei Elemente oder Stoffe. Das hat dann jeder halt ein ganzes Atom** oder halt [unv. verst., Anm. der Autorin]. (30W, Pos. 9–16)

Abbildung 57: *Unschärfeproblem Elementbegriff*. Stimulationsfrage B („Was bedeutet *Elektronen abgeben*, wenn man von der Ionenbindung spricht?“).

## 6.6 Häufigkeiten (fach-)sprachlicher Strategien und Schwierigkeiten bezogen auf die Interviews

Die sprachlichen Strategien wie auch die fachsprachlichen Schwierigkeiten in den Redebeiträgen wurden hinsichtlich ihrer Häufigkeit in den geführten Leitfadeninterviews sowie im Hinblick auf die Gesamtzahl aller Codierungen untersucht (vgl. Kapitel 6.7). In Kapitel 6.6 wird die Häufigkeit von Merkmalen auf die Zahl der Leitfadeninterviews bezogen.

Im Zuge der Analyse wurden 82 Interviews codiert. Tabelle 23 zeigt auf, dass in 75 von 82 Interviews mehr als ein Code vergeben wurde. Lediglich in zwei Interviews wurden keine, in fünf nur eine Codierung getätigt. Der Gesamtüberblick über alle Codierungen ist der Codematrix zu entnehmen.

Tabelle 23: Übersicht über die Codierungen in der Population, basierend auf 82 Interviews

<i>Gesetzte Codes</i>	<i>Interviews</i>
0	2
1	5
> 1	75
$\Sigma$	<b>82</b>

Die Verteilung der (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten wurde auch auf ihre Einmalsichtungen untersucht. Die Einmalsichtung dokumentiert die mindestens einmalige Sichtung einer (fach-)sprachlichen Schwierigkeit (Code) pro Interview. Einmalsichtungen sind für die Datenauswertung der vorliegenden Arbeit relevant, da in einem Interview Codes bzw. Subcodes (auch derselbe Code bzw. Subcode) mehrmals vergeben werden können, das heißt, die Subcodes schließen sich nicht gegenseitig aus. Die Dokumentation der Einmalsichtungen kann Hinweise auf eine gleichmäßige (oder eben nicht gleichmäßige) Verteilung der vergebenen Codes in der Population geben.

In den folgenden Tabellen werden die Einmalsichtungen in Bezug auf die untergeordneten (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten der Hauptmerkmale abgebildet (vgl. Tabelle 24 bis Tabelle 28).

Tabelle 24: Einmalsichtung der Subcodes aus *Allgemeine Verschleierung*

<i>V<sub>A</sub> Subcodes</i>	<i>Interviews mit mindestens einem Subcode</i>
sie	23
sonstige Platzhalter	34

Tabelle 25: Einmalsichtungen der Subcodes aus *Positive Verschleierung*

<i>Einmalsichtung V<sub>+</sub> Subcodes</i>	<i>Interviews mit mindestens einem Code</i>
sie	9
sonstige Platzhalter	16

Tabelle 26: Einmalsichtungen der Subcodes aus *Negative Verschleierung*

<i>Einmalsichtung V<sub>-</sub> Subcodes</i>	<i>Interviews mit mindestens einem Code</i>
sie	18
sonstige Platzhalter	25

Tabelle 27: Einmalsichtungen der Subcodes aus *Problematische Wechsel der Konzeptebenen*

<i>PWK Subcodes</i>	<i>Interviews mit mindestens einem Code</i>
Teilchen–Lebenswelt	48
Stoff–Teilchen	39
Symbol–Stoff	29
Teilchen–Symbol	24
Stoff–Lebenswelt	6
Symbol–Lebenswelt	1

Der Hauptcode *Unschärfeproblem Elementbegriff* besitzt keine Subcodes und kommt in der Population in 27 Interviews mindestens einmal vor.

Tabelle 28: Einmalsichtungen des Hauptcodes *Unschärfeproblem Elementbegriff* (keine Subcodes)

	<i>Interviews mit mindestens einem Code</i>
Unschärfeproblem Elementbegriff	27

## **6.7 Häufigkeiten (fach-)sprachlicher Schwierigkeiten bezogen auf die Zahl der Gesamtcodierungen**

In 82 Interviews wurden insgesamt 584 Codierungen gesetzt. Tabelle 29 zeigt die Übersicht und die absoluten Häufigkeiten dieser Codierungen.

Tabelle 29: Übersicht und absolute Häufigkeit von Codes. Gesamtcodierungen = 584. Die Zahlen stehen für die absoluten Häufigkeiten der jeweils vergebenen Codes

BEREICH	VERBALE VERSCHLEIERUNG			PROBLEMATISCHE WECHSEL ZWISCHEN ALLEN CHEMISCHEN KONZEPTEBENEN <small>NACH MAHAFFY</small>	UNSCHÄRFEPROBLEM ELEMENTBEGRIFF
NAME HAUPTCODE und absolute Häufigkeiten	V <sub>A</sub>	V <sub>+</sub>	V <sub>-</sub>	Problematische Wechsel der Konzeptebenen	Unschärfeproblem Elementbegriff
	127	27	56	290	84
verteilt auf respective Subcodes					
	sonstige Platzhalter	sonstige Platzhalter	sonstige Platzhalter	Teilchen–Lebenswelt	(Keine Subcodes)
	85	18	32	112	
NAME SUBCODE und absolute Häufigkeiten	sie	sie	sie	Stoff–Teilchen	
	42	9	24	94	
				Symbol–Stoff	
				46	
				Teilchen–Symbol	
				29	
				Stoff–Lebenswelt	
				8	
				Symbol–Lebenswelt	
				1	
	sonstige Platzhalter: Pronomen (außer <i>sie</i> ), Indefinitpronomen, Adverbien (vgl. Kapitel 6.3.1)				

Die nun folgende Codematrix dient der Visualisierung aller gesetzten Codes in den Dokumenten. Aus einer grafischen Übersicht wie der Codematrix können die Art und die Anzahl der gesichteten Codes abgelesen werden. Die Codematrix wird als eigener Screenshot aus der Software der Datenauswertung angeführt. Die differenzierte Verteilung aller (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten auf alle Interviews in der Population ist von Abbildung 59 bis Abbildung 61 als Codematrix dargestellt. Wie der Aus-

zug aus der Matrix in Abbildung 58 zeigt, stellt die Spalte das Interview dar, das von 1 bis 82 bzw. mit W und M gekennzeichnet ist (mit W = weiblich und M = männlich). Die Zeilen entsprechen den Codes der jeweiligen (fach-)sprachlichen Schwierigkeit. An den Knotenpunkten stellen die Werte die numerischen Häufigkeiten eines vorkommenden Codes pro Interview dar. Die letzte Zeile der Matrix ist die Summenzeile; mit blauen Ziffern pro Spalte wird Bezug auf die Summe der Codes pro Interview genommen. Die letzte Spalte der Matrix (vgl. Abbildung 61) zeigt schließlich die Summe aller vergebenen Codes in der Population, der Wert der letzten Zeile der letzten Spalte die Gesamtzahl aller vergebenen Codes der gesamten Studie auf.

Codesystem	1W
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>● sie</li> <li>● sonstige Platzhalter</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	2
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>● sie</li> <li>● sonstige Platzhalter</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>● sie</li> <li>● sonstige Platzhalter</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	1
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Teilchen-Lebenswelt</li> <li>● Teilchen-Symbol</li> <li>● Stoff-Teilchen</li> <li>● Stoff-Lebenswelt</li> <li>● Symbol-Lebenswelt</li> <li>● Symbol-Stoff</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	2
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Unschärfeproblem Elementbegriff</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Σ SUMME</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	5

Abbildung 58: Erläuterungen zur Codematrix: Die Spalte repräsentiert ein Interview (hier: Befragte #1W). Die Zeilen entsprechen allen Codegruppen. Im Interview #1W wurden in Summe fünf Codes vergeben: je zwei Codes aus dem Bereich *Allgemeine Verschleierung/sonstige Platzhalter*, ein Code aus *Negative Verschleierung/sonstige Platzhalter* und zwei Codierungen aus *Problematische Wechsel der Konzeptebenen/Teilchen–Lebenswelt*.

Codesystem	1W	2M	3M	4W	5M	6W	7W	8M	9W	10M	11W	12M	13W	14M	15M	16M	17M	18M	19M	
● Allgemeine Verschleierung																				
● sie											1						4		1	
● sonstige Platzhalter	2			2					1								5			
● Positive Verschleierung																				
● sie				1																
● sonstige Platzhalter				1		1		2					1							
● Negative Verschleierung																				
● sie																				
● sonstige Platzhalter	1	1		1	1	1		2				1					1	1	1	
● Problematische Wechsel der Konzepte																				
● Teilchen-Lebenswelt	2	1	1	2	2										1		2			
● Teilchen-Symbol				1	2					1		1			1					
● Teilchen-Teilchen						2	1	2		2	1	1		1	4		3	1		
● Stoff-Lebenswelt																				
● Symbol-Lebenswelt				1																
● Symbol-Stoff								1		1	1	1								
● Unscharfproblem Elementbegriff																				
● Unscharfproblem Elementbegriff																				
● SUMME	5	2	1	6	5	3	3	4	2	6	3	3	2	1	6	1	16	1	2	

Codesystem	20M	21M	22M	23M	24M	25M	26M	27M	28W	29W	30W	31W	32W	33M	34W	35W	36W
● Allgemeine Verschleierung																	
● sie				1						1				1		2	2
● sonstige Platzhalter	1	2	8			1	1	2	1	1				2	3	3	5
● Positive Verschleierung																	
● sie					1										1	1	
● sonstige Platzhalter	1														1	1	
● Negative Verschleierung																	
● sie	1																
● sonstige Platzhalter	2	1		4					1	1	1		1	2			5
● Problematische Wechsel der Konzepte																	
● Teilchen-Lebenswelt		1	1	1				1	2	2				3	9	7	2
● Teilchen-Symbol					4			1	1						1		
● Stoff-Teilchen	8	1		4	4		1	1	1		3			2	1	2	
● Stoff-Lebenswelt																	
● Symbol-Lebenswelt																	
● Symbol-Stoff				1	1				1							2	1
● Unscharfproblem Elementbegriff																	
● Unscharfproblem Elementbegriff		4							1	5	4		3	8			
● SUMME	13	7	3	23	2	5	2	4	8	10	5	0	8	16	17	18	17

Abbildung 59: Codematrix der Befragten Nr. 1–36

Codesystem	37M	38M	39M	40W	41W	42W	43W	44W	45W	46W	47W	48W	49M	50W	51W	52W	53W	54W	55M	56M
Allgemeine Verschleierung						1			1							1				
● sie																				
● sonstige Platzhalter	1		2			2	1		1	1	1					2			1	5
Positive Verschleierung										1										
● sie																				
● sonstige Platzhalter	1		1			1														
Negative Verschleierung																	2			
● sie		1	1											1						
● sonstige Platzhalter		1																		
Problematische Wechsel der Konzeptebenen																				
● Teilchen-Lebenswelt	3	2	4	3	1	1	1	2			3	1	2			1	1	1		4
● Teilchen-Symbol									1		1	1								
● Stoff-Teilchen	1	1	7			2			1	1	7	1				3	1			1
● Stoff-Lebenswelt			3													1				
● Symbol-Lebenswelt																				
● Symbol-Stoff	1	1	4		1			2	1	1	3	1				2	1			
Unschärfeproblem Elementbegriff									1	1				3	1	4				7
Unschärfeproblem Elementbegriff	1	3				6	2	4	3	5	16	5	2	4	1	10	8	1	8	11
SUMME	7	7	25	3	2	6	2	4	7	5	9	5	2	4	1	2	8	1	8	11
Codesystem	57M	58M	59M	60M	61M	62W	63W	64M	65M	66M	67M	68M	69W	70M	71W	72W	73W	74W	75W	76W
Allgemeine Verschleierung																				
● sie																				
● sonstige Platzhalter	2										2		1					1		1
Positive Verschleierung											1							1		1
● sie																				
● sonstige Platzhalter	1						1			1		1				1				
Negative Verschleierung																				
● sie																				
● sonstige Platzhalter																				
Problematische Wechsel der Konzeptebenen																				
● Teilchen-Lebenswelt	3					2	1	2	1	3	3	1	1	1	1	1	5	3	1	2
● Teilchen-Symbol											1									
● Stoff-Teilchen	1	1			1	1			1	1	1					1		1	1	2
● Stoff-Lebenswelt																				
● Symbol-Lebenswelt																				
● Symbol-Stoff	1	1	1	1	1	2					2		1	4				1		
Unschärfeproblem Elementbegriff																				
Unschärfeproblem Elementbegriff	2	6	2	1		6	2	2	7	5	9	3	4	15	0	2	8	8	3	2
SUMME	9	10	4	2	2	6	2	2	7	5	9	3	4	15	0	2	8	8	3	10

Abbildung 60: Codematrix der Befragten Nr. 37–76

Codesystem	77W	78W	79W	80W	81W	82M	SUMME
☒ Allgemeine Verschleierung							0
☒ sie		8		3	3	1	42
☒ sonstige Platzhalter	2	7	5	2	10		84
☒ Positive Verschleierung							0
☒ sie					1		9
☒ sonstige Platzhalter					2		19
☒ Negative Verschleierung							0
☒ sie		1			1		24
☒ sonstige Platzhalter		1		2		1	32
☒ Problematische Wechsel der Konzeptebenen							0
☒ Teilchen-Lebenswelt	1	1	9	2	3		112
☒ Teilchen-Symbol	1	1	1	1	2		29
☒ Stoff-Teilchen		10	1	1	1		94
☒ Stoff-Lebenswelt			1				8
☒ Symbol-Lebenswelt							1
☒ Symbol-Stoff				5			46
☒ Unschärfeproblem Elementbegriff							0
☒ Unschärfeproblem Elementbegriff		6	3		2	8	84
Σ SUMME	4	35	20	16	25	10	584

Abbildung 61: Codematrix der Befragten Nr. 77–82

## 7 Diskussion

Die Ergebnisse der Arbeit werden im vorliegenden Kapitel bewertet. Dazu werden die untersuchten Daten zusammenhängend betrachtet und diskutiert sowie in Bezug auf die hier noch einmal angeführten Forschungsfragen beurteilt.

1. Welche sprachlichen Strategien wenden Lernende in ihren Redebeiträgen an?
2. Welche (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten können dabei differenziert werden?
3. Wie oft treten diese Merkmale innerhalb der Population auf?

Die Ergebnisse werden zu Anfang des vorliegenden Kapitels als Gesamtüberblick abgebildet (vgl. Tabelle 30); danach werden die einzelnen (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten im Rahmen der Beantwortung der Forschungsfragen 1 und 2 reflektiert. Schließlich wird die Frage der Häufigkeiten der gesichteten (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten in der vorliegenden Population diskutiert und in der Folge Forschungsfrage 3 beantwortet. Da es sich bei der deskriptiven Studie um eine begrenzte Population handelt, ist eine weiter reichende statistische Auswertung unseriös. Gleichzeitig zeigt die vorliegende Studie erste wichtige Tendenzen zu den gesichteten (fach-)sprachlichen Merkmalen auf.

Es wurden drei große Hauptbereiche (fach-)sprachlicher Schwierigkeiten in den Redebeiträgen identifiziert (vgl. Tabelle 30), die zur Beantwortung von Forschungsfrage 1 und 2 führten. Dabei wurde ein induktiv-deduktiver Zugang bei der Datenanalyse gewählt. Die Untersuchung zum problematischen Wechsel zwischen allen Konzeptebenen nach Mahaffy erfolgte deduktiv. Die Analyse der Verknüpfung zwischen Bezugs- und Verweiswort und die Auffindung des Unschärfeproblems mit dem Elementbegriff wurden induktiv erarbeitet (vgl. Kapitel 6.2).

Tabelle 30: Hauptbereiche (fach-)sprachlicher Schwierigkeiten in der Population

Hauptbereiche	Verweise
Problematische Verknüpfung zwischen Bezugs- und Verweisformen ( <i>Verbale Verschleierung</i> )	vgl. Kapitel 6.3
Problematischer Wechsel zwischen <i>allen</i> chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy	vgl. Kapitel 6.4
Unschärfeproblem Elementbegriff	vgl. Kapitel 6.5

## 7.1 Die problematische Verbindung zwischen Verweis- und Bezugswort: Strategie der *verbalen Verschleierung* (Forschungsfrage 1)

Grundsätzlich sind Verweiswörter wichtige sprachliche Kohäsionsmittel (vgl. Kapitel 3.1), die Texte formal zusammenhalten und eine Verbindung zwischen Verweis- und fachlichem Bezugswort herstellen. Verweisformen nehmen Bezug auf eine andere Stelle im gleichen Text, meist auf ein Wort oder eine Phrase (Linke et al., 2004). Verweiswörter sind zum Beispiel Pronomen (z. B. sie, euer, dieser, andere) oder Adverbien (z. B. dort, heute, irgendwie). Je nach Verweisrichtung werden dementsprechend Vor- bzw. Vorwärtsverweise und Rück- bzw. Rückwärtsverweise genannt. Alle Verweisformen sind Formulierungshilfen und stellen die Verbindung mit einem Bezugswort her.

Bei ausschließlicher Verwendung von Verweisformen ohne Nennung von Bezugswörtern, also dem (un-)bewussten Vermeiden von chemischen Fachbegriffen durch Lernende, entstand gelegentlich eine Verständnislücke zwischen den Gesprächsbeteiligten (zwischen Lernenden und Lehrpersonen) im Rahmen des Interviews der untersuchten Population; ein Graubereich, der bewusst oder unbewusst generiert wurde. Diese Strategie resultierte in inhaltsarmen Versatzstücken mit vielen pauschalen Verweiswörtern ohne stringenten Bezug auf Fachtermini.

Die vorliegenden Ergebnisse belegen, dass ein ausgeprägter Teil der Population Verweiswörter verwendete, deren Referenz zu einem Bezugswort unklar ist. Die Ergebnisse weisen auch darauf hin, dass die Gesprächsbeteiligten nicht immer auf das

gleiche bzw. nicht auf das korrekte Bezugswort referierten: Wird das Verweiswort nämlich bezüglich seiner Referenz auf das Bezugswort nicht hinterfragt, bleibt das Bezugswort unklar, es ist „verschleiert“. Die Gesprächsbeteiligten referieren mit dem Verweiswort eventuell nicht auf dasselbe chemische Fachwort. Beide Gesprächsbeteiligten verbleiben in der Annahme, es sei das korrekte Bezugswort intendiert. Diese von der Autorin über Jahre im Chemieunterricht empirisch beobachtete sprachliche Strategie wurde im Zuge der vorliegenden Arbeit wissenschaftlich bestätigt und *Verbale Verschleierung* genannt (Seidl et al., 2022). Ob diese Strategie, das heißt die Verwendung vieler Verweiswörter durch Lernende, eingesetzt wird, damit mangelndes Fachwissen kaschiert wird, bleibt ungeklärt. Es ist ebenso unklar, ob diese sprachliche Strategie eine bewusste oder unbewusste Vermeidungsstrategie darstellt.

Im Rahmen der Datenauswertung konnten drei Optionen zur *verbalen Verschleierung* identifiziert werden:

- Die Überprüfung eines unklaren Verweiswortes war im Zuge des Gesprächs nicht möglich (*Allgemeine Verschleierung*).
- Das Verweiswort bzw. der Platzhalter konnte durch Rückfrage positiv bestätigt werden, das heißt, es wurde ein fachlich korrektes Bezugswort von Lernenden intendiert (*Positive Verschleierung*).
- Das Verweiswort wurde durch Rückfrage negativ bestätigt, das heißt, das Verweiswort ergab eine Referenz auf ein fachlich *nicht* korrektes Bezugswort (*Negative Verschleierung*).

Der Gesprächsverlauf während der Interviewführung erlaubte nicht immer eine Klärung aller Verweisformen, was mit dem Hauptcode *Allgemeine Verschleierung* aufgezeigt wird. Hierbei wurde lediglich die Verwendung eines Verweisworts mit unklarer Referenz auf ein Bezugswort dokumentiert. War jedoch eine Rückfrage und Klärung der Verweisform möglich, wurde mit den Hauptcodes *Positive Verschleierung* (Gesprächsbeteiligte referierten auf das korrekte Bezugswort) bzw. *Negative Verschleierung* (Gesprächsbeteiligte referierten *nicht* beide auf das korrekte Bezugswort) codiert. Die Beweisführung der exakten Referenz zu einem Bezugswort wurde bei *Positiver* und *Negativer Verschleierung* somit eingeholt; sie stellte eine zwingen-

de Codierbedingung der beiden Hauptcodes dar (vgl. Kapitel 6.3.2 und 6.3.3).  
Abbildung 62 fasst die Genese der *verbalen Verschleierung* zusammen:

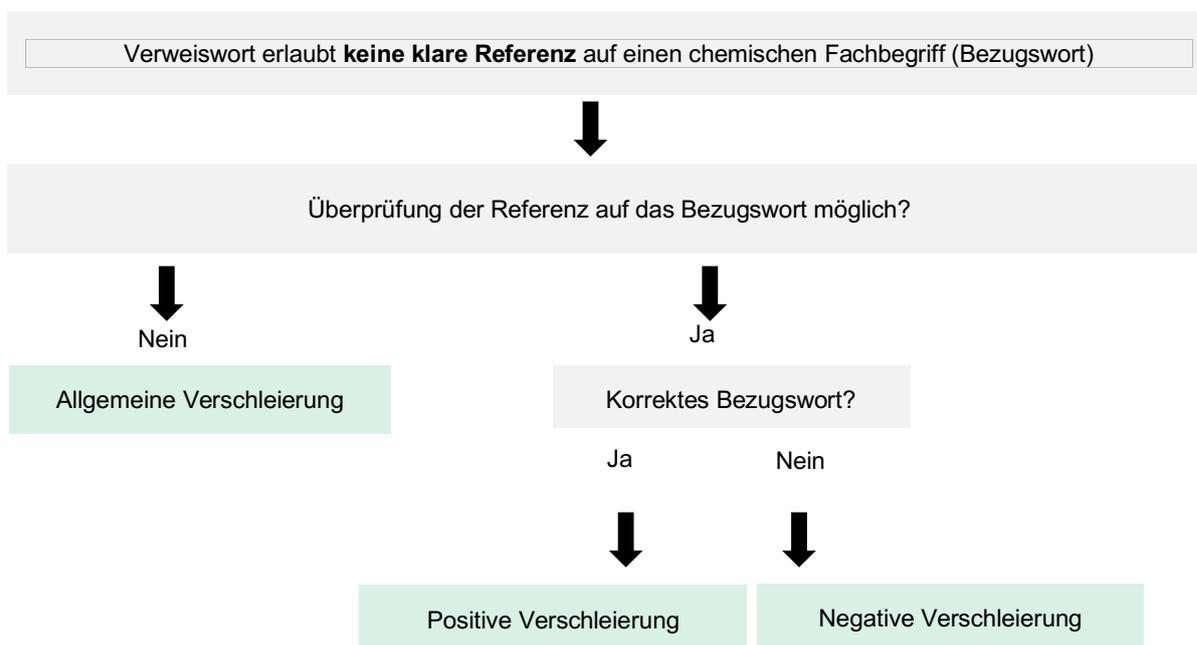


Abbildung 62: Erläuterungen zur Genese der drei Formen *verbaler Verschleierung*

Die gesichteten Verweiswörter wurden unter zwei Subcodes, *sie* (Pronomen „sie“) und *sonstige Platzhalter* (verbleibende Verweiswörter, die weniger häufig auftraten, z. B. Adverbien, Artikel und Pronomen außer „sie“) subsumiert. Das dominante Auftreten des Pronomens „sie“ lässt sich durch die Vielzahl an Begriffen mit dem weiblichen Artikel erklären (die Bindung, die Schale etc.), die im Zuge der Erläuterungen der chemischen Bindungsmodelle üblicherweise verwendet werden. Zusätzlich wird in den Ausführungen häufig auf gewisse Pluralformen Bezug genommen (die Atome, die Elektronen, die Nichtmetalle etc.), die ebenfalls eine weibliche Verweisform haben und zur Häufigkeit des Pronomens „sie“ beitragen.

Die Konsequenzen ungeklärter Verweiswörter im Chemieunterricht sind von hoher Relevanz. Die entstehenden Verständnislücken zwischen den Gesprächsbeteiligten (zwischen Lernenden und Lehrpersonen) im unterrichtlichen Setting werden nämlich oft durch Überformung durch die Lehrperson geklärt. Dieser traditionelle didaktische Ansatz zur Klärung eines Sachverhalts ist aus Sicht der vorliegenden Studie ebenso problematisch wie wenig förderlich, da Lernende jeder Überformung mit hoher Wahrscheinlichkeit zustimmen werden, ohne den Fachinhalt eigenständig reflektiert zu haben. Vor dem Hintergrund der vorliegenden Daten scheint es effektiver, Satzfrag-

mente der Lernenden als Gesprächsanlass zu nehmen und jene Versatzstücke, die kritische Verweiswörter enthalten, von Lernenden autonom korrigieren bzw. überformen zu lassen. Aus diesem Grund wurden auch während der Interviewführung keine Überformungen durch die Autorin durchgeführt. Die Lernenden wurden selbst aufgefordert, problematische Textstellen zu klären und insbesondere Verweiswörter mit ihren unklaren Bezugswörtern zu identifizieren.

Lernende sollten daher im Unterricht auch Zeit bekommen, elaborierte mündliche Antworten auszuformulieren (Gebhard et al., 2017) und selbstständig Überformungen zu tätigen. Es ist wichtig, Lernenden die Möglichkeit einzuräumen, die kognitive Leistung der eigenen Überformung bzw. die Klärung des fraglichen Bezugswortes selbstständig zu erbringen, damit sie im Sinne des aktiven Lernens und des lauten Denkens reflektiert handeln (M. T. Chi et al., 1994; M. T. H. Chi et al., 1989; Hähndel, 2020).

Die Studie weist darauf hin, dass die Strategie der *verbalen Verschleierung* einen blinden Fleck in der Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden im chemieunterrichtlichen Diskurs der Population aufzeigt. Vor dem Hintergrund der Studie kann eine fehlende Klärung von pauschalen Formulierungen zur Manifestation falscher Bezugswörter führen, die in der Folge fachlich problematische Verknüpfungen erzeugen. Eine genaue Überprüfung von Verweisformen im Zuge des Unterrichtsgesprächs mit Lernenden erscheint aus Sicht der Untersuchung hochrelevant.

## **7.2 Differenzierung fachsprachlicher Schwierigkeiten von Lernenden (Forschungsfrage 2)**

Im Rahmen der Untersuchung ergaben sich zwei dominante Bereiche von Schwierigkeiten, die unter den Lernenden der Kohorte gesichtet wurden. Ein Hauptcode wurde als *Problematische Wechsel zwischen den Konzeptebenen* und der zweite Hauptcode als *Unschärfeproblem Elementbegriff* definiert. Ersterer hat sechs Subcodes, die die jeweiligen Ebenenwechsel abbilden. Der Hauptcode *Unschärfeproblem Elementbegriff* besitzt keine Subcodes.

### 7.2.1 Problematische Wechsel zwischen *allen* vier chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy

Die größte Schwierigkeit hinsichtlich der chemischen Fachsprache im mündlichen Diskurs der untersuchten Population liegt im fachgerechten Wechsel zwischen *allen* vier chemiespezifischen Konzeptebenen nach Mahaffy (2006). Aus diesem Grund wurde der Hauptcode mit der Bezeichnung *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* auf Basis des als Tetraeder symbolisierten Modells der vier Konzeptebenen nach Mahaffy generiert (vgl. Abbildung 63). Die Konzeptebene mit dem Namen *lebensweltliche Ebene*, durch die sich das Modell Mahaffys von Johnstone grundsätzlich unterscheidet, ist unter den gesichteten Merkmalen der untersuchten Kohorte stark ausgeprägt, und zwar im Wechsel mit allen anderen Ebenen (Teilchen-, Symbol- und Stoffebene). Somit gibt es sechs Subcodes. Jeder Subcode bildet einen Wechsel zwischen zwei Ebenen ab, denn jeder Wechsel wurde als fachsprachliche Hürde in der Population gesichtet (vgl. Kapitel 6.2).

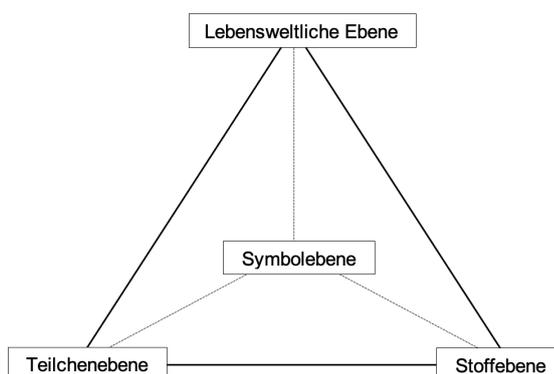


Abbildung 63: Veranschaulichung der Konzeptebenen adaptiert nach Mahaffy (2006)

Der Einsatz der chemischen Konzeptebenen im Chemieunterricht ist grundsätzlich als sinnvoll einzustufen, wenngleich dieser kognitiv anspruchsvoll ist, da eine ebenenkonforme Interpretation und Informationsgewinnung eine große Herausforderung für Lernende darstellt. Diese Tatsache erhärtet sich in den untersuchten Redebeiträgen für die mündliche Kommunikation der untersuchten Population. Die Fülle an Informationen auf verschiedenen Ebenen wie auch die (fehlende) Kompetenz, Darstellungen selektiv zu erfassen bzw. zu interpretieren, bedürfen eines breiten Vorwissens und eines großen Ausmaßes an Übung, Parameter, die im ersten Lernjahr (8. Schulstufe) jedoch nur marginal vorhanden sind. Im Datensatz werden Konzeptebe-

nen kombiniert, die in den untersuchten Redebeiträgen als problematisch eingestuft wurden.

Das Beispiel in Abbildung 64 macht die Gratwanderung zwischen didaktischer Reduktion und fachlicher Richtigkeit (Risch & Pfeifer, 2018) in den untersuchten Redebeiträgen sichtbar. Das Beispiel zeigt zugleich den häufigsten problematischen Wechsel zwischen den Ebenen, nämlich den Wechsel zwischen Teilchen und Lebenswelt. Die Daten zu den Häufigkeiten aller weiteren Subcodes sind Kapitel 6.7 zu entnehmen.

**B:** Also, sie teilen sich die Elektronen, indem sie halt, ähm, wenn jetzt, ähm, beide noch drei Elektronen brauchen, dann sind die gefangen in dieser Bindung. Und, ähm, sie können sie aber beide nutzen. Das heißt, sie haben beide eine volle Außenschale.

**I:** Und „beide“ – was meinst du damit?

**B:** **Also beide haben den Sofazustand.** Und sie teilen sich sozusagen die Elektronen, also, sie können beide darauf zugreifen. (56W, Pos. 30–32)

Abbildung 64: *Problematischer Wechsel der Konzeptebenen mit dem Subcode Teilchen–Lebenswelt.* Stimulationsfrage D („Wie kann man das verstehen: *Bei der Atombindung teilen sich Atome die Elektronen?*“).

Der zweithäufigste problematische Wechsel zwischen zwei chemischen Konzeptebenen wird unter dem Subcode *Stoff–Teilchen* subsumiert, der den Wechsel zwischen der Stoff- und der Teilchenebene in den untersuchten Redebeiträgen aufgreift. Der Subcode *Stoff–Teilchen* zeigt den Wechsel zwischen der phänomenologischen und der submikroskopischen Ebene in den untersuchten Redebeiträgen auf und ist in der Chemiedidaktik als klassisches Zwiedenken bekannt (Christen, 1984). Die Vermischung von makroskopischer und submikroskopischer Ebene ist gut dokumentiert (Büchter & Barke, 2022). Formulierungen mit Wechsel zwischen der Stoff- und der Teilchenebene sind ein vertrauter Bestandteil des sogenannten Laborjargons (ebd.); Laborjargon ist für Lehrende ein vertrautes Register, für junge Lernende jedoch eine Herausforderung. Die Differenzierung dieser Ebenen ist in den Schulbüchern, insbesondere in den dort angeführten Versionen des Periodensystems der Elemente, wenig transparent (Abels et al., 2018) und stellte demzufolge eine beträchtliche Schwierigkeit für Lernende der Population dar (vgl. Abbildung 65). Die Gleichstellung der

Teilchen- mit der Stoffebene ist auch in den Redebeiträgen stark präsent, es wurden 94 von 584 Gesamtcodierungen mit diesem Subcode getätigt.

**B:** Also, die **Atome** sind dann fröhlich, sag ich einmal so. Und wenn man stabil ist, dann (.....) sind die **Stoffe** halt, die, mit denen sie halt verbunden haben, sind dann stabiler und fester und halt besser, weiß nicht. (35M, Pos. 6)

Abbildung 65: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Stoff–Teilchen*. Stimulationsfrage A („Warum binden sich Atome überhaupt?“).

Der problematische Wechsel zwischen der symbolischen und der stofflichen Ebene (Subcode *Symbol–Stoff*) stellt gerade im Bereich der Chemischen Bindungen ein zu erwartendes Problem dar. Probleme mit den ikonischen und symbolischen Anteilen der sprachlichen Formulierung der zwei in den Stimulationsfragen vorkommenden Bindungsarten Ionenbindung und kovalenter Bindung mit Linien, Punkten oder Symbolen für Ladungen wurden in der Population häufig gesichtet. Linien und Punkte haben keinen Abbildcharakter (Sieve & Bernholt, 2021) und spiegeln lediglich Symbole wider. In der Population werden diese Informationen problematisch in anderen Kontexten und auf anderen Konzeptebenen wiedergegeben (vgl. Abbildung 66). Abbildung 66 zeigt den problematischen Transfer der symbolischen auf die phänomenologische Ebene.

**B:** Und, ähm, Ionen sind auch Salze. Und wenn zum Beispiel ein **Salz** am Boden fällt, dann verschieben sich diese, sozusagen diese Reihen und dann **sind Plus und Plus nebeneinander** und das stößt sich ab. (12M, Pos. 30)

Abbildung 66: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Symbol–Stoff*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: *Ionen sind geladene Teilchen?*“).

Die Wechsel zwischen der Teilchen- und der Symbolebene (Subcode *Teilchen–Symbol*) ist grundsätzlich notwendig, denn immerhin werden im Rahmen der Bindungsbildung symbolische Entitäten genutzt, die die Mobilität der Valenzelektronen verdeutlichen. Es wurden im untersuchten Datenmaterial jedoch Passagen in den Redebeiträgen identifiziert, die als fachsprachlich kritisch zu bewerten sind. Folgendes Beispiel (vgl. Abbildung 67) zeigt deutlich, welche große Herausforderung die Differenzierung zwischen der Symbol- und der Teilchenebene für die Lernenden der Population ist. Es ist anzunehmen, dass die Vielfalt an symbolischen, ikonischen und

hybriden Darstellungsoptionen in der Chemie hier großen Einfluss hat. Es wird zum Beispiel die „Bindung“ als eigenständige Entität gesehen, die „Elektronen“ abzugeben imstande sein soll. Das heißt, dass das Konzept von Bindung als Resultat der Interaktion von Elektronen nicht vorhanden ist.

**I:** Keine Ahnung? Ok, dann lassen wir es. Wenn wir von der Ionenbindung sprechen, was bedeutet denn „Elektronen abgeben“?

**B:** Ähm (.....)

**I:** Ionenbindung. Was dir einmal einfällt. Plaudere doch einfach mal so vor dich hin. Vergiss mich einfach, ich bin gar nicht da.

**B:** (...) **Also, die Bindung gibt die Elektronen ab.** Ähm (...) (45W, Pos. 5–9)

Abbildung 67: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Teilchen–Symbol*. Stimulationsfrage B („Was bedeutet *Elektronen abgeben*, wenn man von der Ionenbindung spricht?“)

Der problematische Wechsel zwischen der symbolischen und der lebensweltlichen Ebene (Subcode *Symbol–Lebenswelt*) durch stark animistische Attribute bzw. anthropomorphe Formulierungen ist nachvollziehbar, da im definierten Stoffgebiet ausgeprägtes Modelldenken benötigt wird. Dieser Code wurde im Material dennoch lediglich einmal gesichtet (vgl. Abbildung 68).

Ein problematischer Wechsel zwischen der lebensweltlichen Ebene und der Stoffebene scheint a priori nicht sofort nachvollziehbar. Mit nur acht Codierungen in der gesamten Population (drei davon wurden in einem Dokument codiert) ist dieser Subcode aus Sicht der Studie ebenso von geringer Relevanz. Beide Subcodes (*Stoff–Lebenswelt* und *Symbol–Lebenswelt*) wurden insgesamt lediglich neunmal vergeben.

**B:** Das (...) wird mit (...) ich glaub, mit diesen Mickey-Mouse-Atomen hat uns das der Herr Professor erklärt (lacht).

**I:** Ja, aber wenn wir nur von der Bindung sprechen, wie das überhaupt funktioniert, was ist der Unterscheid zwischen diesen zwei [Bindungen, Anm. der Autorin]?

**B:** Dass die, bei dem Ionengitter ist es ja abwechselnd, weil mit Plus und Minus. **Und bei den Atomen wird ja das Plus an das Minus gehaftet, mit diesem Mickey-Mouse-Atomen** (lacht). (4W, Pos. 46–50)

Abbildung 68: *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* mit dem Subcode *Symbol–Lebenswelt*. Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: *Ionen sind geladene Teilchen?*“).

Zusammenfassend kann bestätigt werden, dass die Wechsel zwischen *allen* vier chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy im chemieunterrichtlichen Diskurs zwischen Lernenden und Lehrenden als problematisch einzustufen sind, weil daraus fachlich unscharfe Formulierungen resultieren. Diese fachsprachlichen Schwierigkeiten werden in der untersuchten Kohorte vom Wechsel zwischen der submikroskopischen und der lebensweltlichen Ebene dominiert (vgl. Kapitel 6.6 und 6.7). Diese Tatsache lässt sich damit begründen, dass das anspruchsvolle Themengebiet der *chemischen Bindungen* in der Sekundarstufe I zu einem hohen Anteil auf der submikroskopischen Ebene arbeitet und lebensweltliche Formulierungen dazu verwendet werden, die Inhalte zu verdeutlichen. Im Hinblick der vorliegenden Ergebnisse ist diese Intention durchaus zu hinterfragen.

Der flüchtige Charakter der gesprochenen Sprache und die Komplexität der Darstellungen von Modellen im Bereich der chemischen Bindungen erschweren die anspruchsvolle verbale Rekonstruktion von Fachinhalten. Es kann sogar von einer „Verstehensillusion“ (M. T. H. Chi et al., 1989) ausgegangen werden. Lernende wiegen sich in Sicherheit, weil sie meinen, eine Erklärung verstanden zu haben, obwohl dies objektiv betrachtet nicht zutrifft (Prinz et al., 2018). Dieses Phänomen tritt auch beim Einsatz naturwissenschaftlicher Erklärvideos im Internet auf (Kulgemeyer, 2018). In einer experimentellen Studie wurde dabei die Verstehensillusion von Lernenden gemessen. Ein wissenschaftlich inkorrektes Video wurde zum Beispiel von Lernenden im Rahmen dieser Studie als verständlicher eingestuft (ebd.).

### 7.2.2 Unschärfeproblem Elementbegriff: Identifikation des Begriffs *Element* als Platzhalter für andere chemische Fachbegriffe

Die Untersuchung machte deutlich, dass der Begriff *Element* unter den Lernenden nicht fachgerecht eingesetzt wird. Er nimmt in einigen Fällen die Funktion eines Platzhalters für andere chemische Fachbegriffe ein. Der Terminus *Element* hat jedoch eine klar definierte Bedeutung in der Chemie, weswegen der Hauptcode *Unschärfeproblem Elementbegriff* definiert wurde. Ein repräsentatives Beispiel ist Abbildung 69 zu entnehmen.

**I:** Was bedeutet „Elektronen abgeben“, wenn wir von einer Ionenbindung sprechen? Was stellst du dir da vor?  
**B:** Also, dass man halt, dass halt, es sind jetzt zwei Stoffe oder so. Zwei Elemente. Und einer hat halt nur zum Beispiel zwei Außenschalen und die andere hat sechs, also, also halt sechs Elektronen. Und dann gibt einfach von diesen Element, also das, was nur zwei hat, Außenschalen ab, damit halt das dann sozusagen eine volle Außenschale hat und das andere auch.

Abbildung 69: *Unschärfeproblem Elementbegriff*. Stimulationsfrage B („Was bedeutet *Elektronen abgeben*, wenn man von der Ionenbindung spricht?“).

Die untersuchte Population zeigt ausgeprägte Schwierigkeiten, den Begriff *Element* fachgerecht in der mündlichen Kommunikation einzusetzen. Der Begriff wird in der untersuchten Population als Substitut für viele Fachbegriffe („Atom“, „Ion“, „Teilchen“, „Stoff“ etc.) verwendet. Dieses Merkmal eröffnet auch ein Problemfeld hinsichtlich der ebenenkonformen chemischen Fachsprache. Abschließend ist zu erwähnen, dass der Code *Unschärfeproblem Elementbegriff* bewusst als eigener Hauptcode neben dem Hauptcode *Problematische Wechsel der Konzeptebenen* generiert wurde. Somit wird die zentrale Thematik des Unschärfeproblems des Terminus *Element* im Chemieunterricht hervorgehoben.

### 7.3 Tendenzen zur Häufigkeit der gesichteten (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten (Forschungsfrage 3)

Die Datenauswertung zeigt, dass in 75 von 82 Interviews mehr als ein Code gesetzt wurde. Nur in zwei Interviews wurden keine (vgl. Abbildung 59 und Abbildung 60,

Interview #31 und #71), in fünf wurde nur eine Codierung getätigt (vgl. Abbildung 59). Der Grund für das Fehlen jeglicher Codierungen in diesen sieben Interviews war einerseits die Nervosität der befragten Lernenden, die in der Folge mit der Autorin wenig kommunizierten. Andererseits wurden wenige Codierungen getätigt, weil die Lernenden über ausreichend Wissen bzw. (fach-)sprachliche Kompetenz verfügten, um formell wie auch inhaltlich gehaltvolle Aussagen zu generieren.

### **7.3.1 Verteilung der Codes innerhalb der Population in Bezug auf die Zahl der Gesamtcodierungen**

In 82 Interviews wurden insgesamt 584 Codierungen getätigt. Die Ergebnisse zeigen, dass die überwiegende Zahl der Probleme (290 von 584 Codierungen) mit dem fachgerechten Wechsel zwischen *allen* chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy haben (vgl. Tabelle 31).

210 von 584 Codierungen fielen in den Bereich der unklaren Verbindung zwischen Verweis- und Bezugswort; das heißt, es wurden Verweiswörter bzw. Platzhalter gesichtet, die nicht immer stringent auf den richtigen chemischen Fachbegriff bzw. den für die Lehrperson erwarteten fachlichen Sachverhalt verweisen. Die Strategie der *verbalen Verschleierung* ist demnach ein stark ausgeprägtes Merkmal in der untersuchten Population. Eine fachdidaktisch relevante sprachliche Schwierigkeit, die im Rahmen der Datenauswertung gesichtet wurde, stellt die inkorrekte Referenz von Verweiswörtern auf Fachinhalte (*Negative Verschleierung*) dar. Schließlich ist der Begriff *Element* in den untersuchten Redebeiträgen in ambivalenter Verwendung, wenngleich die Tendenz hier geringer ausfällt (84 von 584 Codierungen). Tabelle 31 gibt einen vereinfachten Überblick über die Verteilung aller Haupt- und Subcodes. Die angeführten Zahlen repräsentieren die absoluten Häufigkeiten der respektiven Codes.

Tabelle 31: Übersicht über alle Haupt- und Subcodes und deren absolute Häufigkeit; Zahlen stellen die absoluten Häufigkeiten jedes Subcodes dar

BEREICH	VERBALE VERSCHLEIERUNG			PROBLEMATISCHE WECHSEL ZWISCHEN ALLEN CHEMI- SCHEN KONZEPTEBENEN <small>NACH MAHAFFY</small>	UNSCHÄRFEPROBLEM ELEMENTBEGRIFF
NAME HAUPTCODE	Allgemeine Verschleierung	Positive Verschleierung	Negative Verschleierung	Problematische Wechsel der Konzeptebenen	Unschärfeproblem Elementbegriff
	127	27	56	290	84
verteilt auf respektive Subcodes ↓					
NAME SUBCODE	sonstige Platzhalter	sonstige Platzhalter	sonstige Platzhalter	Teilchen–Lebenswelt	(Keine Subcodes)
	85	18	32	112	
	sie	sie	sie	Stoff–Teilchen	
	42	9	24	94	
				Symbol–Stoff	
				46	
				Teilchen–Symbol	
				29	
				Stoff–Lebenswelt	
				8	
				Symbol–Lebenswelt	
				1	
	sonstige Platzhalter = Pronomen (außer <i>sie</i> ), Indefinitpronomen, Adverbien (vgl. Kapitel 6.3.1)				

Der chemiespezifische Wechsel zwischen allen Konzeptebenen bringt in der Population große Schwierigkeiten mit sich. Es wurde belegt, dass alle problematischen Wechsel zwischen je zwei Ebenen in den Redebeiträgen der Kohorte präsent sind.

Am häufigsten wurde der Wechsel zwischen der Teilchen- und der Lebenswelt gesichtet (112 von 290). Dies lässt sich dadurch erklären, dass im Rahmen des Stoffgebiets der chemischen Bindungsmodelle stark auf der Modell- bzw. Teilchenebene gearbeitet wird. Im Sinne der didaktischen Reduktion kommen vereinfachte Veranschaulichungen, anthropomorphe und animistische Elemente seitens der Lehrpersonen wie auch der Lehrbücher durchaus zum Einsatz (vgl. Kapitel 3.2.3), die in der Folge in den untersuchten Redebeiträgen zu problematischem Formulieren führen (vgl. Kapitel 6.4). Zu erwarten war auch die Ausprägung des problematischen Wechsels zwischen der Stoff- und der Teilchenebene im mündlichen Diskurs der untersuchten Population mit 94 von 290 gesichteten Codierungen. Ein problematischer Wechsel zwischen der Symbol- und der Lebenswelt wurde lediglich einmal in der Population festgestellt.

### **7.3.2 Verteilung der Codes in Bezug auf die mindestens einmalige Sichtung pro Interview (Einmalsichtung)**

Die Datenreihe der Einmalsichtungen zeigt auf, ob (fach-)sprachliche Schwierigkeiten zumindest einmal pro Interview vorkamen (vgl. Kapitel 6.6). Durch diese Ergebnisdarstellung konnte gezeigt werden, ob Merkmale sich lediglich bei einigen wenigen Interviews häuften oder ob Merkmale grundsätzlich homogen in der Population verteilt waren. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich die (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten nicht nur auf wenige Lernende akkumulieren, sondern in der gesamten Population präsent sind (vgl. Abbildung 70). Abbildung 70 gibt einen numerischen Überblick über die Einmalsichtungen aller Codes in Hinblick auf alle Interviews.

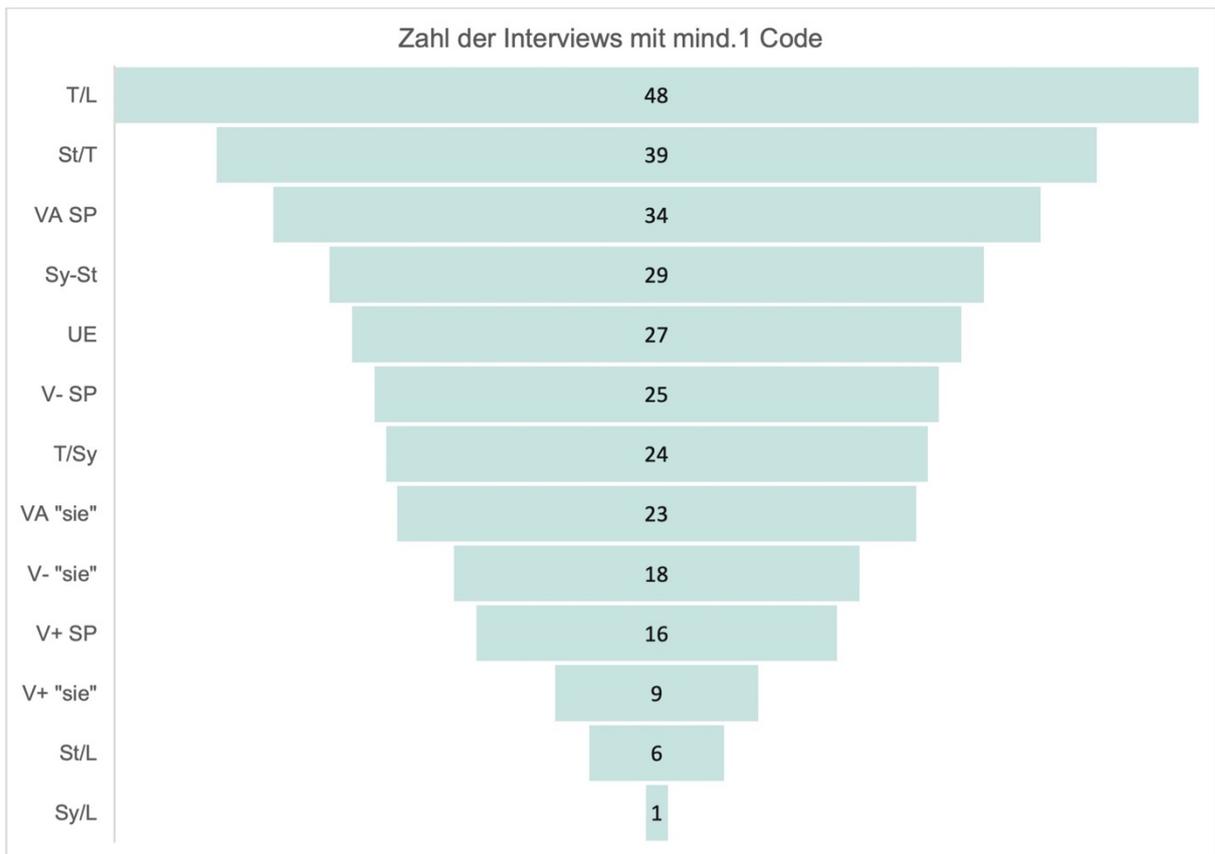


Abbildung 70: Zahl der Interviews mit mindestens einem Code. Legende: T/L = Ebenenwechsel Teilchen–Lebenswelt, St/T = Ebenenwechsel Stoff–Teilchen, VA SP = Allgemeine Verschleierung mit sonstigen Platzhaltern, Sy/St = Ebenenwechsel Symbol–Stoff, UE = Unschärfeproblem Elementbegriff, V- SP = Negative Verschleierung mit sonstigen Platzhaltern, T/Sy = Ebenenwechsel Teilchen–Symbol, VA „sie“ = Allgemeine Verschleierung mit „sie“, V- „sie“ = Negative Verschleierung mit „sie“, V+ SP = Positive Verschleierung mit sonstigen Platzhaltern, V+ „sie“ = Positive Verschleierung mit „sie“, St/L = Ebenenwechsel Stoff–Teilchen, Sy/L = Ebenenwechsel Symbol–Lebenswelt

Es konnte belegt werden, dass sich die Codierungen nicht auf wenige Interviews akkumulieren. Die Daten zeigen, dass in 48 von 82 Interviews mindestens einmal Probleme mit dem Wechsel zwischen der Teilchen- und der lebensweltlichen Ebene auftraten, gefolgt von einem problematischen Wechsel zwischen Stoff- und Teilchenebene. Der Grund für diese ausgeprägte Präsenz der genannten Subcodes innerhalb der Population ist dem Themengebiet der chemischen Bindungen geschuldet, in dem die komplexen, stark modellhaften Inhalte durchaus mit anthropomorphen Ansätzen erklärt werden. Das „alte“ Problem der Vermischung von Stoff- und Teilchenebene ist im Gebiet der chemischen Bindungen ebenfalls stark präsent.

Die Einmalsichtung der Subcodes weist ebenfalls darauf hin, dass die Wechsel zwischen der Symbol- und der Stoffebene in 29 von 82 Interviews und auch ein proble-

matischer Wechsel zwischen der Teilchen- und der Symbolebene mindestens je einmal gesichtet wurden (24 von 82 Interviews). Auch diese Ergebnisse lassen sich auf die Modellhaftigkeit der chemischen Bindungen zurückführen. Der Wechsel zwischen der Stoff- und der lebensweltlichen (6 von 82) bzw. der Symbol- und der lebensweltlichen Ebene (1 von 82) ist in der untersuchten Kohorte nicht stark ausgeprägt.

Interessant ist insbesondere die Tatsache, dass ein fehlendes Bezugswort zum Verweiswort „sie“ (*Allgemeine Verschleierung/Subcode sie*) in 23 von 82 Interviews mindestens je einmal dokumentiert wurde. Das häufige Auftreten des Pronomens *sie* lässt sich durch die Vielzahl an Begriffen mit dem weiblichen Artikel begründen (die Bindung, die Schale etc.), die im Laufe der Erläuterungen der chemischen Bindungsmodelle oft verwendet werden. Zusätzlich wird in den Ausführungen auf gewisse Pluralformen Bezug genommen (die Atome, die Elektronen, die Nichtmetalle etc.), die ebenfalls eine weibliche Verweisform haben und zur Häufigkeit des Pronomens „sie“ beitragen. Diese Beobachtung scheint relevant, da gerade aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Bezugswörtern eine Rückfrage durch die Lehrperson hinsichtlich der Referenz des Verweiswortes *sie* eine dringende Holschuld darstellt.

Von hoher Relevanz ist auch die Anzahl der mindestens einmaligen Sichtung von sonstigen Platzhaltern, die nach Rückfrage eben *nicht* auf ein richtiges Bezugswort referierten: In 25 von 82 Interviews wurden sonstige Platzhalter mindestens einmal gesichtet, die nicht auf korrekte chemische Fachbegriffe Bezug nahmen. Auch das Pronomen „sie“ wurde in 18 von 82 Interviews mindestens einmal mit falscher Referenz dokumentiert. Dem gegenüber steht die geringe Zahl des mindestens einmal gesichteten Pronomens „sie“ (9 von 82 Interviews), das korrekt auf einen Fachbegriff referierte. In 16 von 82 Interviews konnten zumindest sonstige Platzhalter mit korrekter Referenz auf ihr Fachwort mindestens einmal bestätigt werden.

Der Terminus *Element* wird in 27 von 82 Interviews mindestens einmal nicht fachgerecht eingesetzt. Diese Tendenz innerhalb der Population rückt diesen so wichtigen Begriff im Chemieunterricht einmal mehr in den Fokus fachsprachlicher und fachdidaktischer Überlegungen.

### 7.3.3 Interpretation der Codematrix

Die Codematrix erlaubt einen Gesamtüberblick über alle Interviews und bildet die genaue Dichte an Codierungen ab. Als bemerkenswerte Beispiele seien die Interviews #33 bis #36 zu nennen, die eine hohe Dichte an Codierungen (> 15) und somit außerdem eine hohe Dichte an problematischen Formulierungen abbilden, die festgestellt werden konnte (vgl. Tabelle 32).

Bei dem in Tabelle 32 angeführten Auszug von Interviews mit hoher Dichte an Codierungen ist die *Positive Verschleierung* (V<sub>+</sub>), also die positive Klärung der Beziehung zwischen dem Verweiswort und dem Bezugswort, separat ausgewiesen, da diese relevante Codierung zeigt, wie viele Lernende mit Verweiswörtern tatsächlich auf *richtige* Bezugswörter referierten. Die ausgewählten Daten belegen, dass nur wenige Lernende mit einem Verweiswort auf richtige chemische Fachbegriffe referierten. Dies entspricht dem Trend der Gesamtpopulation (vgl. Kapitel 6.7).

Tabelle 32: Ausgewählte Interviews mit hoher Dichte an Codierungen

<i>Interview Nummer</i>	<i>Zahl aller Codierungen ohne V<sub>+</sub></i>	<i>Zahl aller Codierungen mit V<sub>+</sub></i>	<i>Gesamtcodierungen</i>
#78	35	0	35
#39	24	1	25
#23	23	0	23
#81	22	3	25
#36	17	0	17
#17	16	0	16
#33	16	0	16
#35	16	2	18
#47	15	1	16
#34	15	2	17

Es ist anzumerken, dass einige Lernende der Population selbstverständlich auch solide fachsprachliche Formulierungen produzierten; dies zeigt als Beispiel der Redebeitrag einer Schülerin (Interview #14) in Abbildung 71. In einigen Fällen (Interviews

#9, #24, #40 und #63) wurde von den Lernenden auf die Verwendung adäquater Fachbegriffe und Bildungssprache geachtet und der Wechsel zwischen den chemischen Konzeptebenen fachgerecht vollzogen. Diese Befragten reüssierten auch mit stringenten Platzhaltern, das heißt, es traten keine *verbalen Verschleierungen* im Gesprächsverlauf auf (Beispiel aus Interview #9, vgl. Abbildung 72). Schließlich wurden auch durchaus fachgemäße Formulierungen hinsichtlich der Wechsel der chemischen Konzeptebenen gesichtet.

**B:** „Elektronen abgeben“ bedeutet, dass sie, also die Metallatome, ihre Valenzelektronen abgeben, um Kationen zu werden. (14W, Pos. 2)

Abbildung 71: Fachsprachlich solide Formulierung zur Stimulationsfrage B („Was bedeutet *Elektronen abgeben*, wenn man von der Ionenbindung spricht?“)

**B:** „Elektronen abgeben“. Zum Beispiel wenn jetzt man auf ein, also, ähm, es gibt es, man kann zwei als volle Valenzschale haben oder acht, also maximal acht. Und jetzt hast du beim, zum Beispiel beim einen Atom sechs und das andere braucht, ähm, noch, und das braucht halt noch acht.

**I:** Was ist denn „acht“? Was meinst du genau?

**B:** Eine volle Valenzschale, also maximal acht, können acht.

**I:** „Acht und zwei“, was genau?

**B:** (...) Also, man kann ja zwei, zwei wäre auch eine volle Valenzschale.

**I:** Ja, aber was, was „zwei“?

**B:** Zwei Elektronen.

**I:** Ok. (9W, Pos. 30–37)

Abbildung 72: Fachsprachlich solide Formulierung zur Stimulationsfrage C („Was bedeutet der Satz: *Ionen sind geladene Teilchen*?“)

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass die Lernenden der Population hauptsächlich Probleme mit dem adäquaten Wechsel zwischen *allen* chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy haben. Dies bestätigt der dominante Anteil der Codierungen mit gleichnamigem Hauptcode (50 %). Im Detail bedeutet das, dass es nicht nur Probleme im gut dokumentierten Wechsel zwischen der Stoff- und der Teilchenebene, sondern auch Schwierigkeiten zwischen allen weiteren Ebenen wie der Symbol- und der lebensweltlichen Ebene gibt.

36 % aller Codierungen fielen in den Bereich der unklaren Verbindung zwischen Verweis- und Bezugswort. Die *Verbale Verschleierung* stellt demnach ein stark ausgeprägtes Merkmal in der untersuchten Population dar. Eine fachdidaktisch relevante sprachliche Schwierigkeit, die im Rahmen der Datenauswertung gesichtet wurde, stellt die inkorrekte Referenz von Verweiswörtern auf Fachinhalte (*Negative Verschleierung*) dar.

Schließlich ist der Begriff *Element* in den untersuchten Redebeiträgen in ambivalenter Verwendung (14 % der Codierungen).

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war eine qualitative Untersuchung sprachlicher und fachsprachlicher Herausforderungen im chemieunterrichtlichen Diskurs zwischen Lernenden und Lehrenden. Neben dieser Analyse galt es außerdem, Häufigkeiten der gesichteten Merkmale aufzuzeigen. Aufbauend auf theoretischen Grundlagen und einer Vorstudie zur Optimierung der Leitfragen wurden Interviews mit 82 Lernenden aus zwei Schulen bzw. fünf Klassen geführt. Die Klassen wurden von drei verschiedenen Lehrpersonen mit jeweils unterschiedlichen Methoden und Schulbüchern unterrichtet. Die Ergebnisse der Studie belegen, dass in allen Gruppen ähnliche (fach-)sprachliche Schwierigkeiten auftreten.

### 8.1 Zusammenfassung

Die aktuelle Forschungslandschaft zeigt deutlich, dass die Sprache als wichtige Durchschnittsmenge in vielen Fachdidaktiken präsent ist. Auch in den tertiären Bildungseinrichtungen bzw. der Lehrkräfteausbildung ist die Sprache schon lange in den Forschungsfokus gerückt; denn um Lernende beim Erwerb der Fachsprache zu unterstützen, müssen Lehrende dementsprechend ausgebildet werden. Zum Beispiel wird die Förderung des sogenannten *Pedagogical Scientific Language Knowledge (PSLK)* von Lehrkräften klar dargestellt (Mönch & Markic, 2022). Im deutschsprachigen Raum liegen nur wenige Untersuchungen zur Förderung der gesprochenen Fachsprache in der Sekundarstufe I vor. Die meisten Studienansätze fokussieren auf Lernende mit Deutsch als Zweitsprache (ebd.). Studien zu Erkenntnissen der Sprachhandlung *Sprechen* im Unterricht findet man dominant im englischsprachigen Raum. Sie dürfen mit gebotener Vorsicht auf den deutschsprachigen Raum übertragen werden. Es ist somit nachvollziehbar, dass mündliche Sprachhandlungen von Lernenden zu Recht in den Forschungsfokus rücken. Es sind qualitative Studien zur Fachkommunikation notwendig; ein Forschungsfokus, der eine fachsprachenspezifische Diagnose generiert und in der Folge eine differenzierte Förderung zulässt.

Die Natur der verbalen Kommunikation speziell von Lernenden besteht in der heterogenen Verwendung von Versatzstücken aus Alltags-, Bildungs- und Fachsprache. Die Vermischung dieser Register zeugt einerseits von einer durchaus intrinsischen

Motivation, dem Unterricht sach- und adressatengerecht Folge leisten zu wollen, gleichzeitig birgt diese Vermengung von Sprachformen eine unbewusste, teils bewusste Verschleierung und Simplifikation von Fachinhalten. Insbesondere die adäquate Verwendung aller Konzeptebenen nach Johnstone bzw. Mahaffy stellt für den Chemieunterricht durchaus eine Herausforderung dar. Während geschulte Personen im Bereich Chemie in der Kommunikation zwischen den Ebenen nachvollziehbar wechseln können (Haas & Marohn, 2022), haben viele Lernende große Probleme mit der Reflexion der respektiven Konzeptebenen. Ein ebenenkonformer Wechsel ist jedoch Teil einer stringenten Fachsprache; dieser sollte als pädagogisches Ziel im Chemieunterricht präsent sein. Problematisch bei Äußerungen von Lernenden ist auch die Kohäsion, also der formale Zusammenhang eines Textes durch Pronomen, Adverbien oder andere Platzhalter (Verweiswörter wie Vor- und Rückverweise). Ein Hinterfragen solcher Verweiswörter sollte im Idealfall gewährleistet sein (Parchmann & Bernholt, 2013). Die explizite Beforschung der chemischen Fachsprache wie zum Beispiel im Bereich der Fehlvorstellungen (Barke et al., 2019) ist heute in der Literatur gut sichtbar; gleichzeitig ist eine genaue fachsprachliche Analyse von Segmenten in den einzelnen Redebeiträgen bzw. eine Dokumentation problematischer Bezüge zwischen chemischem Fach- und dem Bezugswort in den Redebeiträgen unbeforscht. Die Diagnose der chemischen Fachsprache nimmt also eine immer wichtigere Rolle ein (Tolsdorf & Markic, 2018).

Die vorliegende Arbeit stellt eine deskriptive, qualitative Analyse von Redebeiträgen von Lernenden im chemieunterrichtlichen Diskurs dar, die auf fachsprachlicher bzw. semantischer Ebene Äußerungen von Lernenden im ersten Lernjahr Chemie (8. Schulstufe) mithilfe eines Kategoriensystems untersucht. Ziel war es, eine genaue Bestandsaufnahme von Lernschwierigkeiten im mündlichen Diskurs abzubilden. Aus den gewonnenen Daten wurden die gesichteten (fach-)sprachlichen Merkmale in einem Kategoriensystem systematisch geordnet. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

**Die gesichteten (fach-)sprachlichen Schwierigkeiten waren in der Population breit verteilt und akkumulierten sich nicht nur auf wenige Lernende.**

Dies wurde sowohl durch das Format der Einmalsichtungen als auch die Dokumentation über die Codematrix in der Datenauswertung bestätigt.

**Lernende der Population verwendeten Verweiswörter, deren Referenz auf ein klares Bezugswort zunächst unklar ist. Bei Rückversicherung hinsichtlich der Referenz des Verweiswortes auf ein klares Bezugswort wurden teilweise nicht korrekte Bezugswörter identifiziert.**

Wenn ein Verweiswort in der Folge nicht durch die Lehrperson hinterfragt wird, bleibt das Bezugswort „verschleiert“. Es können Fehlvorstellungen und grundlegende fachliche Verständnisprobleme aus diesen pauschalen Formulierungen bzw. dieser Vermeidungsstrategie entstehen bzw. weiterbestehen, da die Gesprächsbeteiligten mit einem Verweiswort nicht auf dasselbe Bezugswort referierten. Demnach wurde die Korrektheit des Bezugswortes nicht reflektiert. Das Begriffsverständnis zwischen den Gesprächsbeteiligten (Lehrperson und Lernenden) bleibt ungeklärt (*Verbale Verschleierung*). Die Aufklärung solcher Verweiswörter ist hinsichtlich des Verständnis- und Lernprozesses von hoher Relevanz. Vor dem Hintergrund dieser Studie scheint sehr wichtig, die Verweiswörter von Lernenden im Zuge des Gesprächs auf ihre Referenz zu prüfen, damit in der Folge eine Reflexion und ein Abgleichen der Fachinhalte zwischen beiden Gesprächsbeteiligten erreicht werden.

**Lernende der Population wiesen fachsprachliche Schwierigkeiten hinsichtlich eines adäquaten Wechsels zwischen *allen* chemischen Konzeptebenen nach Mahaffy auf.**

Ein weiteres Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist die Sichtung von fachlich problematischen Wechseln zwischen *allen* chemischen Konzeptebenen neben der Sichtung des gut dokumentierten Wechsels zwischen der Stoff- und der Teilchenebene. Die fachsprachlichen Schwierigkeiten wurden in der untersuchten Kohorte vom Wechsel zwischen der submikroskopischen und der lebensweltlichen Ebene dominiert, was dem Themengebiet der *chemischen Bindungsmodelle* geschuldet ist.

**Lernende der untersuchten Population verwendeten den Terminus *Element* als pauschalen Platzhalter für andere chemische Fachbegriffe.**

Der Begriff *Element* wurde als Substituent für makroskopische wie auch submikroskopische Begriffe in den Redebeiträgen verwendet. Es scheint, dass das Begriffsverständnis des fundamentalen Terminus *Element* gerade in der Sekundarstufe I noch mehr in den Fokus rücken sollte.

## 8.2 Ausblick

Die vorliegende Arbeit repräsentiert einen Schritt in Richtung Diagnose des chemieunterrichtlichen Diskurses aus Fachperspektive. Sie bietet eine Voraussetzung für anschließende (fach-)sprachliche Förderinitiativen. Die Arbeit bildet eine Bestandsaufnahme (fach-)sprachlicher Stolpersteine im chemieunterrichtlichen mündlichen Diskurs ab und trägt einen Teil zu deren Diagnose im Chemieunterricht bei. Eine gezielte Analyse der Fachkommunikation ist unerlässlich, damit Fehlvorstellungen und Fossilierungen (Han, 2012) vermieden werden. Dabei erheben die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit; die Bestandsaufnahme bietet eine Chance, aus Redebeiträgen von Lernenden Rückschlüsse auf Formulierings- und Verständnisschwierigkeiten zu ziehen und potenzielle Formulierings- und Verständnisprobleme aufzudecken.

Damit niederschweligen Formulierungen vorgebeugt wird, ist es wünschenswert, Lernenden mehr Zeit und den nötigen wertschätzenden Rahmen für gehaltvolle und adressatengerechte Antworten zu ermöglichen. Dabei gilt es auch, die *wait time* zu erhöhen, das heißt, den Lernenden nach dem Stellen der Frage auch genug Zeit für eine qualitativ hochwertige Antwortformulierung zu gewähren. Der Qualität der Kommunikation im mündlich geprägten Fachunterricht, insbesondere dem Chemieunterricht, ist mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Es wäre wünschenswert, konstant qualitativ hochwertige Sprechansätze zu schaffen und auch gehaltvolle sprachliche Lernansätze zu generieren, die auf fachtypischen Textsorten basieren (Beese & Roll, 2015). Einen Beitrag zu qualitativ vollen und vor allem längeren Redebeiträgen können die sogenannten Ampelkarten leisten (Anhang).

Vor dem Hintergrund der vorliegenden Forschungsergebnisse können in diesem neu eröffneten Forschungsfeld weiterführende Forschungsfragen ausformuliert werden. Eine dieser Forschungsperspektiven wäre das Anlegen der Untersuchung auf einer breiteren empirischen Basis. Ein solches Forschungsdesign erlaubt eine gute statistische Auswertung der Verteilung der Codes. In Bezug auf die vorliegende Gesamtpopulation stellt auch eine detaillierte Untersuchung hinsichtlich der Verteilung der Codes in den verschiedenen Subpopulationen (jede einzelne Klasse) eine neue Forschungsfrage dar. In diesem Forschungsformat können außerdem die einzelnen Populationen hinsichtlich der Forschungsfragen differenziert betrachtet und untersucht

werden. Schließlich ist auch eine identische Untersuchung in weiteren Schulstufen bzw. tertiären Bildungseinrichtungen von Interesse. Ebenfalls relevant wäre eine Untersuchung der (fach-)sprachlichen Formulierungen von Lehrpersonen im Chemieunterricht. Dabei könnte man sich entweder nur auf die Verwendung von Verweiswörtern oder auf Formulierungen konzentrieren, die im Zuge der Wechsel zwischen den chemischen Konzeptebenen auftreten. Des Weiteren sind in diesem Zusammenhang auch die von Lehrpersonen artikulierten Anthropomorphismen sowie die Verwendung des Elementbegriffs von Interesse. Im Hinblick auf die vorliegenden Ergebnisse wäre es sinnvoll, wenn Lehrpersonen die Fachkommunikation mit Lernenden ausführlicher reflektieren würden, zum Beispiel durch eine kontinuierliche Rückversicherung hinsichtlich der Beziehung zwischen verwendeten Verweis- und Bezugswörtern. Eine weitere Möglichkeit stellt das Minimieren der im fachlichen Diskurs verwendeten Verweiswörter der Lehrpersonen selbst dar. Wenn Verweiswörter zur Anwendung kommen, sei darauf geachtet, dass die Referenzen der verwendeten Verweiswörter mit den Lernenden gemeinsam abgeklärt werden. Diese methodischen Ansätze brauchen mehr Zeit, jedoch darf ein vermeintlicher zeitlicher Druck oder das Desiderat des Abwickelns des gesamten Lehrplans bei ihrer Umsetzung im Unterricht nicht im Wege stehen (Streller et al., 2019).

Sprechen als produktive Sprachhandlung definiert sich immer mehr als bedeutender Teil des sprachbewussten Unterrichts und auch als große Chance, durch fach- und bildungssprachlich hochwertige Redebeiträge von Lernenden zum Lernerfolg beizutragen. Fach- und Fachsprachenlernen gehen Hand in Hand und erzeugen eine Positivspirale; die Verknüpfung von fachlichem und sprachlichen Handeln ermöglicht gehaltvolle Gesprächssituationen zwischen Lernenden und Lehrenden, da die Wiedergabe und der Zugang zum Fachwissen dadurch erleichtert werden (Schneider et al., 2022). Schließlich ermöglicht eine Synergie von (Fach-)Sprachenlernen und Fachlernen eine aktivere, freudvollere Teilhabe am Fachunterricht und schafft neue Möglichkeiten, junge Menschen aktiver an einem seriösen, wissenschaftlichen Diskurs teilhaben zu lassen.

„Die Sprache ist der Schlüssel zur Welt.“

Wilhelm von Humboldt

## 9 Literaturverzeichnis

- Abels, S., Koliander, B., Plotz, T. & Heidinger, C. (2018). Neon ist ein Gas und hat zwei Ringe—Zur Trennung der makroskopischen und submikroskopischen Ebene des Periodensystems. *CHEMKON*, 25(6), 238–242.  
<https://doi.org/10.1002/ckon.201800063>
- Ahlers, T., Oberst, T. & Nentwig, P. (2009). Redeanteile von Lehrern und Schülern im Chemieunterricht nach ChiK. 15, 331–342.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Aleksov, R., Fischer, H., Krabbe, H. & Härtig, H. (2021). Sprachbewusster Physikunterricht. 74(4), 279–286.
- Association for Supporting Qualitative Research ASQ. (2020). QCAMap 2020 [Software]. Klagenfurt: Association for Supporting Qualitative Research ASQ. [qcamap.org](http://qcamap.org)
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer.
- Barke, H.-D. & Büchter, J. (2020). Laborjargon in der Chemie. Untersuchung fachwissenschaftlicher Literatur und Befragung von Lehrenden. 35(4), 12–16.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2011). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Springer.
- Barke, H.-D., Wisudawati, A., Hassan Pour Awilag, M. & Büchter, J. (2019). ACID-BASE AND REDOX REACTIONS ON SUBMICRO LEVEL: MISCONCEPTIONS AND CHALLENGE.
- Becker, H. & Kemper, A. (2021). Sprachförderung im Unterricht. *Nachrichten aus der Chemie*, 69(5), 36–40. <https://doi.org/10.1002/nadc.20214106840>
- Becker, H.-J. & Kemper, A.-K. (2018). Trendbericht Chemiedidaktik 2017: Sprachaktivierung im Chemieunterricht. *Nachrichten aus der Chemie*, 66(3), 341–345.  
<https://doi.org/10.1002/nadc.20184072945>
- Beese, M. & Roll, H. (2015). Textsorten im Fach – zur Förderung von Literalität im Sachfach in Schule und Lehrerbildung. In C. Lubkoll, F. Kragl, D. Kimmich, J. Kilian, H. Kämper, J. Jacob, N. Gess, & B. Bastert (Hrsg.), *Germanistik* (S. 51–72). De Gruyter.  
<https://www.degruyter.com/document/database/GERMANISTIK/entry/ogerm.2c88f9d8-f292-40c9-98ad-b4637350e576/html>

- Behling, F., Förtsch, C. & Neuhaus, B. J. (2019). Sprachsensibler Biologieunterricht – Förderung professioneller Handlungskompetenz und professioneller Wahrnehmung durch videogestützte live-Unterrichtsbeobachtung. Eine Projektbeschreibung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25, 307–316. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00103-9>
- Behrends, E. (2010). *Ist Mathematik die Sprache der Natur?* 29, 53.
- Bernholt, S. (2021). *Symbol-Modell-Kontext*. 181, 4–9.
- Bernholt, S., Fischer, I., Heuer, S., Taskin, V., Martens, J. & Parchmann, I. (2012). Die chemische Formelsprache—(Un-)vermeidbare Hürden auf dem Weg zu einer Verständnisenwicklung? *CHEMKON*, 19(4), 171–178. <https://doi.org/10.1002/ckon.201210183>
- Bleicher, R. E., Tobin, K. G. & McRobbie, C. J. (2003). Opportunities to Talk Science in a High School Chemistry Classroom. *Research in Science Education*, 33(3), 319–339. <https://doi.org/10.1023/A:1025480311414>
- BMBWF. (2022). *Lehrpläne der AHS*. [https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/lp/lp\\_ahs.html](https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/lp/lp_ahs.html)
- Brennan, R. L. & Prediger, D. J. (1981). Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3), 687–699. <https://doi.org/10.1177/001316448104100307>
- Büchter, J. & Barke, H.-D. (2022). *Der Laborjargon in der Chemie und darauf gegründete Fehlvorstellungen*. 43.
- Busch, H. & Ralle, B. (2013). Diagnostik und Förderung fachsprachlicher Kompetenzen im Chemieunterricht. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann & H. J. Vollmer (Hrsg.), *Sprache im Fach: Sprachlichkeit und fachliches Lernen* (Bd. 3, S. 277–294). Waxmann.
- Buttlar, A.-C. (2018). Sprachliche Anforderungen im Unterrichtsgespräch der Grundschule. In C. G. Caruso, J. Hofmann, A. Rohde & K.-S. Schick (Hrsg.), *Sprache im Unterricht: Ansätze, Konzepte, Methoden* (S. 103–118). WVT, Wissenschaftlicher Verlag Trier.
- Carnevale, C. & Wojnesitz, A. (2014). *Sprachsensibler Fachunterricht in der Sekundarstufe. Grundlagen – Methoden – Praxisbeispiele*. ÖSZ. [http://www.oesz.at/sprachsensiblerunterricht/UPLOAD/Praxisreihe\\_23web.pdf](http://www.oesz.at/sprachsensiblerunterricht/UPLOAD/Praxisreihe_23web.pdf)
- Chi, M. T., De Leeuw, N., Chiu, M.-H. & LaVanher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive science*, 18(3), 439–477.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems. *Cognitive Science*, 13(2), 145–182. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1302\\_1](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1302_1)
- Christen, H. R. (1984). *Chemie* (12. Aufl). Diesterweg.

- Cummins, J. (1979). *Cognitive/Academic Language Proficiency, Linguistic Interdependence, the Optimum Age Question and Some Other Matters. Working Papers on Bilingualism, No. 19.*
- Deibl, S. (2018). *Interessant, was du da sagst! 1*, 20–25.
- Deppermann, A. (2013). Interview als Text vs. Interview als Interaktion. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, Vol 14, No 3* (2013). <https://doi.org/10.17169/FQS-14.3.2064>
- Driver, R. & Scott, P. (1994). Schülerinnen und Schüler auf dem Weg zum Teilchenmodell. *NiU/Physik, 5*(2), 24–31.
- Eriksson, B. & De Pietro, J.-F. (2011). Mündlichkeit: Aktuelle Entwicklungen in verschiedenen Kontexten. *Swiss Journal of Educational Research, 33*(2), 161–174. <https://doi.org/10.24452/sjer.33.2.4854>
- Eriksson, B., Luginbühl, M. & Tuor, N. (Hrsg.). (2013). *Sprechen und Zuhören - gefragte Kompetenzen? Überzeugungen zur Mündlichkeit in Schule und Beruf* (1. Aufl.). Hep, der Bildungsverlag.
- Feige, E.-M., Rutsch, J., Dörfler, T. & Rehm, M. (2017). *Von der Alltagsvorstellung zum fachwissenschaftlichen Konzept. 3*(159), 2–8.
- Fenkart, G., Lembens, A. & Erlacher-Zeitlinger, E. (Hrsg.). (2010). *Sprache, Mathematik und Naturwissenschaften*. StudienVerlag.
- Fleischer, H. (2021). *Didaktischer Prüfstand. Elemente und elementare Stoffe. 4*, 329–332.
- Franke-Braun, G. (2008). *Aufgaben mit gestuften Lernhilfen: Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*. Logos-Verlag.
- Friebertshäuser, B., Langer, A., Prengel, A. & Boller, H. (Hrsg.). (2013). *Handbuch qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft* (4., durchges. Aufl.). Beltz Juventa.
- Frühauf, D. & Tegen, H. (Hrsg.). (2014). *Treffpunkt Chemie* (6. Aufl.). Dorner.
- Gebhard, U. (1994). Die Beseelung der Natur. In U. Gebhard, *Kind und Natur* (S. 37–57). VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-322-99678-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-322-99678-7_3)
- Gebhard, U., Höttecke, D. & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften: Ein Studienbuch*. Springer VS.
- Gibbons, P. (2002). *Scaffolding language, scaffolding learning: Teaching second language learners in the mainstream classroom*. Heinemann.
- Gibbons, P. (2015). *Scaffolding language, scaffolding learning: Teaching English language learners in the mainstream classroom* (Second edition). Heinemann.

- Göhner, M. & Krell, M. (2020). Qualitative Inhaltsanalyse in naturwissenschaftsdidaktischer Forschung unter Berücksichtigung von Gütekriterien: Ein Review. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00111-0>
- Göhner, M. & Krell, M. (2021). Was ist schwierig am Modellieren? Identifikation und Beschreibung von Hindernissen in Modellierungsprozessen von Lehramtsstudierenden naturwissenschaftlicher Fächer. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27(1), 155–180. <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00131-4>
- Gold, V. (Hrsg.). (2019). *The IUPAC Compendium of Chemical Terminology: The Gold Book* (4. Aufl.). International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). <https://doi.org/10.1351/goldbook>
- Göpferich, S. (1998). *Interkulturelles Technical Writing: Fachliches adressatengerecht vermitteln; ein Lehr- und Arbeitsbuch*. Narr.
- Gudjons, H. (2003). *Pädagogisches Grundwissen: Überblick - Kompendium - Studienbuch* (8., aktualisierte Aufl., 89.-100. Tsd). Klinkhardt.
- Haas, J.-B. & Marohn, A. (2022). *Chem:LEVEL - fachsprachlich sensibler Chemieunterricht auf Basis des Johnstone-Dreiecks*. 43(43).
- Häckl, B., & Maiwald, K. (2017). *Gespräche sprachbewusst führen: Ein deutschdidaktisches Konzept zur prozessorientierten Förderung von Gesprächsfähigkeiten im fächerweiten Unterricht (Sekundarstufe II)*. Universität Augsburg. <https://books.google.at/books?id=dA4DtAEACAAJ>
- Hähndel, J. (2020). *MNU - Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts—Element und Verbindung*. MNU Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts. <https://www.mnu.de/fachbereiche/didaktischer-pruefstand/592-element-und-verbinding>
- Haim, K. & Müller, A. (2016). *Expedition Chemie 4* (6. Auflage). Dorner.
- Han, Z. (2012). Fossilization. In C. A. Chapelle (Hrsg.), *The Encyclopedia of Applied Linguistics* (S. wbeal0436). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781405198431.wbeal0436>
- Heimann, R., Merge, V. & Harsch, G. (2009). *Teilchenvorstellung—Zwei Studien zum Umgang mit der Teilchenvorstellung in der Sekundarstufe I*. 58(7), 34–38.
- Heitmann, P., Hecht, M., Scherer, R., & Schwanewedel, J. (2017). “Learning Science Is About Facts and Language Learning Is About Being Discursive”—An Empirical Investigation of Students’ Disciplinary Beliefs in the Context of Argumentation. *Frontiers in Psychology*, 8, 946. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00946>
- Helfferich, C. (2014). Leitfaden- und Experteninterviews. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 559–574). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0_39)

- Hoelzel, W. (2021). *Bildung von Ionenverbindungen bei Hauptgruppenelementen* [W Hoelzel Biogie Chemie]. W Hoelzel Biogie Chemie. <https://www.w-hoelzel.de/chemie/09-klasse/2-redoxreaktionen/1-magnesium-und-sauerstoff>
- Hoermann, S. & Lindner, S. (2011). *Mündlicher Sprachgebrauch I: Kommunikation im Klassenzimmer*.
- Hoffmann, L. (2019). *Alltagssprache*. <https://doi.org/10.5282/UBM/EPUB.61747>
- Humboldt, W. von. (1836). *Über die Verschiedenheit des menschlichen Sprachbaues und ihren Einfluss auf die geistige Entwicklung des Menschengeschlechts*. Königliche Akademie der Wissenschaften. <https://d-nb.info/gnd/118554727>
- Ian, T. R. (2021). *Johnstone's triangle and models for understanding chemistry*. <https://ianscienceessays.wordpress.com/2019/07/07/johnstones-triangle-and-models-for-understanding-chemistry/>
- Jahnke-Klein, S. & Busse, V. (2019). Sprachsensibel unterrichten in den Naturwissenschaften – Kontextorientierung als Lernhilfe oder zusätzliche Barriere? In M. Butler & J. Goschler (Hrsg.), *Sprachsensibler Fachunterricht: Chancen und Herausforderungen aus interdisziplinärer Perspektive* (S. 115–140). Springer Fachmedien. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-27168-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-658-27168-8_5)
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230>.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry—Logical or psychological? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 1(1), 9–15. <https://doi.org/10.1039/A9RP90001B>
- Jung, W. (1972). *Fachliche Zulässigkeit aus didaktischer Sicht* [Arbeitspapier zum IPN-Seminar 2].
- Kechajas, T. & Voitic, E. (2014). *Mehrfach Chemie. [4. Klasse]*. Veritas.
- Kleinschmidt-Schinke, K. (2018). *Die an die Schüler/-innen gerichtete Sprache (SgS): Studien zur Veränderung der Lehrer/-innensprache von der Grundschule bis zur Oberstufe*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110569001>
- Knobloch, R., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2011). Analyse der Schüler-Schüler-Kommunikation im Chemieunterricht Entwicklung und Erprobung eines Kategoriensystems. *CHEMKON*, 18(2), 65–70. <https://doi.org/10.1002/ckon.201110148>
- Knobloch, R., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2013). *Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg: Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*. 19, 347–373.
- Koch, P. & Oesterreicher, W. (1986). *Sprache der Nähe - Sprache der Distanz: Mündlichkeit und Schriftlichkeit im Spannungsfeld von Sprachtheorie und Sprachgeschichte*. <https://doi.org/10.15496/PUBLIKATION-20410>

- Kremer, M. & Bee, U. (2019). Chemical Bonds and Periodic System: The Use of didactically refined periodic systems (PSE<sup>3</sup> – Periodic System on 3 levels and the Periodic Table of the basic particles and forces) in lesson. *CHEMKON*, 26(7), 286–293. <https://doi.org/10.1002/ckon.201900025>
- Krippendorff, K. (1980). *Content analysis: An introduction to its methodology*. Sage Publications.
- Kuckartz, U. (2010). *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten* (3., aktualisierte Aufl). VS, Verl. für Sozialwiss.
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2019). *Analyzing Qualitative Data with MAXQDA Text, Audio, and Video*. Springer International Publishing: Imprint: Springer. <https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-15671-8>
- Kulgemeyer, C. (2018). Towards a framework for effective instructional explanations in science teaching. *Studies in Science Education*, 54(2), 109–139. <https://doi.org/10.1080/03057267.2018.1598054>
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lange, I. (2012). Von ‚Schülerisch‘ zu Bildungssprache. In S. Fürstenau (Hrsg.), *Interkulturelle Pädagogik und Sprachliche Bildung: Herausforderungen für die Lehrerbildung* (S. 123–142). VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-18785-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-531-18785-3_7)
- Lange, I., Gogolin, I., & Griebach, D. (2010). *Durchgängige Sprachbildung: Eine Handreichung*. Waxmann.
- Leisen, J. (2013). *Handbuch Sprachförderung im Fach: Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis: Grundlagenwissen, Anregungen und Beispiele für die Unterstützung von sprachschwachen Lernern und Lernern mit Zuwanderungsgeschichte beim Sprechen, Lesen, Schreiben und Üben im Fach*. Ernst Klett Sprachen.
- Leisen, J. (2017). *Handbuch Fortbildung Sprachförderung im Fach: Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis* (1. Auflage). Ernst Klett Sprachen.
- Leisen, J. (2019). *Das Prinzip der kalkulierten Herausforderung*. 7(7), 10–13.
- Leisen, J. (2022). *Sprachbildung und sprachsensibler Fachunterricht in den Naturwissenschaften* (1. Auflage). Verlag W. Kohlhammer.
- Linke, A., Nussbaumer, M., Portmann-Tselikas, P. R., Willi, U. & Berchtold, S. (2004). *Studienbuch Linguistik: Ergänzt um ein Kapitel „Phonetik, Phonologie“ von Urs Willi* (5., erweiterte Auflage). Max Niemeyer Verlag.
- Lohnstein, H. (2013). 3 E- und W-Interrogativsätze. In J. Meibauer, M. Steinbach, & H. Altmann (Hrsg.), *Satztypen des Deutschen*. DE GRUYTER. <https://doi.org/10.1515/9783110224832.51>

- Lück, G. (2001). Wenn die unbelebte Natur im Sachunterricht beseelt wird. Die Rolle der Animismen im Vermittlungsprozess. In J. Kahlert (Hrsg.), *Wissen, Können und Verstehen: Über die Herstellung ihrer Zusammenhänge im Sachunterricht* (Bd. 11, S. 149–159). Klinkhardt.
- Magyar, R., Liebhart, W., Jelinkek, G. & Faber, W. (2014). *Stoffe* (1. Aufl.). ÖBV.
- Magyar, R., Liebhart, W., Jelinkek, G., Faber, W. & Strnad, A. (2020). *ELMO- Elemente und Moleküle* (1. Aufl.). ÖBV.
- Mahaffy, P. (2004). THE FUTURE SHAPE OF CHEMISTRY EDUCATION. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 5(3), 229–245. <https://doi.org/10.1039/B4RP90026J>
- Mahaffy, P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. Union Carbide Award for Chemical Education. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 49. <https://doi.org/10.1021/ed083p49>
- Markic, S., Broggy, J. & Childs, P. (2013). How to Deal with Linguistic Issues in Chemistry Classes. In I. Eilks & A. Hofstein (Hrsg.), *Teaching Chemistry – A Studybook* (S. 127–152). SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6209-140-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-6209-140-5_5)
- Markic, S. & Childs, P. E. (2016). Language and the teaching and learning of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(3), 434–438. <https://doi.org/10.1039/C6RP90006B>
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12., überarbeitete Auflage). Beltz Verlag.
- Mayring, P. & Fenzl, T. (2014). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. (S. 534–547). Springer VS.
- Mayring, P. & Fenzl, T. (2017). QCAMap: Eine interaktive Webapplikation für Qualitative Inhaltsanalyse. *ZSE Zeitschrift für Soziologie der Erziehung und Sozialisation*, 03, 333–341. <https://doi.org/10.3262/ZSE1703333>
- Menthe, J., Nehring, A. & Rehm, M. (2019). *Erfolgreich kommunizieren und verstehen im Chemieunterricht*. 174, 2–9.
- Merzyn, G. (1998). Sprache und naturwissenschaftlicher Unterricht. 10 Thesen. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule, Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule: PdN*, 47(2), 1.
- Merzyn, G. (2008). *Sprache und Chemie lernen*. 3(106/107), 94–97.
- Merzyn, G. (2015). *Das Unterrichtsgespräch in Biologie, Chemie, Physik. Fragend-entwickelnder Unterricht*. 68, 4–8.
- Merzyn, G. (2016). Das Unterrichtsgespräch- Eigenschaften, Probleme, Mängel. *MNU Journal*, 69(1), 51–57.

- Mönch, C. & Markic, S. (2022). Science Teachers' Pedagogical Scientific Language Knowledge—A Systematic Review. *Education Sciences*, 12(7), 497. <https://doi.org/10.3390/educsci12070497>
- Morek, M. & Heller, V. (2012). *Bildungssprache- Kommunikative, epistemische, osziale und interaktive Aspekte ihres Gebrauchs*. 57, 67–101.
- Mortimer, C. E., Müller, U. & Beck, J. (2015). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie* (12., korrigierte und aktualisierte Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Müller-Benedict, V. (2019). *Der Einsatz von Maßzahlen der Interkoder-Reliabilität in der Inhaltsanalyse*.
- OECD. (2020). *PISA 2018 Results (Volume VI): Are Students Ready to Thrive in an Interconnected World?* OECD. <https://doi.org/10.1787/d5f68679-en>
- Ortner, H., Ungeheuer, G. & Wiegand, H. E. (2009). Rhetorik und Stilistik / Rhetoric and Stylistics. In U. Fix, A. Gardt, & J. Knappe (Hrsg.), *Rhetorik und Stilistik / Rhetoric and Stylistics* (Bd. 2, S. 2227–2240). Mouton de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110213713.1.7.2227>
- Özcan, N. (2013). *Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie: Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht*. Logos-Verlag.
- Parchmann, I. & Bernholt, S. (2013). In, mit und über Chemie kommunizieren. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann, & H. J. Vollmer (Hrsg.), *Sprache im Fach: Sprachlichkeit und fachliches Lernen* (Bd. 3, S. 241–253). Waxmann.
- Parchmann, I. & Venke, S. (2008). *Eindeutig-Zweideutig?! 19*, 10–15.
- Peirce, C. S. (1983). *Phänomen und Logik der Zeichen* (H. Pape, Hrsg.; V; [Nachdr.], 1. Aufl). Suhrkamp. <http://www.joachimschummer.net/jslit/semchem.htm#n4>
- Piaget, J., Inhelder, B. & Piaget, J. (1979). *The psychology of the child* (Repr). Routledge.
- Pineker-Fischer, A. (2017). *Sprach- und Fachlernen im naturwissenschaftlichen Unterricht: Umgang von Lehrpersonen in soziokulturell heterogenen Klassen mit Bildungssprache*. Springer VS.
- Portmann-Tselikas, P. R. & Schmolzer-Eibinger, S. (2008). Textkompetenz. *Fremdsprache Deutsch*, 39(1), 5–16.
- Prinz, A., Golke, S. & Wittwer, J. (2018). The double curse of misconceptions: Misconceptions impair not only text comprehension but also metacomprehension in the domain of statistics. *Instructional Science*, 46(5), 723–765. <https://doi.org/10.1007/s11251-018-9452-6>
- Przywarra, T. & Risch, B. (2021). Didaktik: Kugeln, Bilder oder Augmented Reality? *Nachrichten Aus Der Chemie*, 69(11), 12–15. <https://doi.org/10.1002/nadc.20214116629>

- Püttschneider, M. & Lück, G. (2004). Die Rolle des Animismus bei der Vermittlung chemischer Sachverhalte. *CHEMKON*, 11(4), 167–174.  
<https://doi.org/10.1002/ckon.200410014>
- Rehm, M. & Bölsterli, K. (2014). Entwicklung von Unterrichtsvignetten. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 213–225). Springer Berlin Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0_18)
- Rehm, M. & Sieve, B. (2012). *Der Elementbegriff als Teekesselchen*. 23(128), 24–27.
- Rehm, M., & Stäudel, L. (2012). *Grundbegriffe und Basiskonzepte der Chemie*. 23(128), 2–7.
- Renkl, A. (1997a). *Lernen durch Lehren: Zentrale Wirkmechanismen beim kooperativen Lernen*. Dt. Univ.-Verl. [u.a.]. <https://doi.org/10.1007/978-3-663-08696-3>
- Renkl, A. (1997b). Learning from Worked-Out Examples: A Study on Individual Differences. *Cognitive Science*, 21(1), 1–29.  
[https://doi.org/10.1207/s15516709cog2101\\_1](https://doi.org/10.1207/s15516709cog2101_1)
- Rincke, K. (2010). Alltagssprache, Fachsprache und ihre besonderen Bedeutungen für das Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16(16), 235–260.
- Rincke, K. & Markic, S. (2018). Sprache und das Lernen von Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 31–48). Springer Berlin Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_3)
- Risch, B. & Pfeifer, P. (2018). Didaktische Reduktion—Elementarisierung. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher, & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (1. Auflage, vollständige Neubearbeitung). Friedrich, Aulis.
- Röbken, H. & Wetzel, K. (2016). Qualitative und Quantitative Forschungsmethoden. In C. von Ossietzky (Hrsg.), *Qualitative und Quantitative Forschungsmethoden* (S. 1–17). Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. [http://www.bba.uni-oldenburg.de/download/leseprobe\\_quantitativ\\_analytische\\_methoden.pdf](http://www.bba.uni-oldenburg.de/download/leseprobe_quantitativ_analytische_methoden.pdf)
- Romstadt, J. K., Martens, J. & Furhhop, N. (2019). Warum versteht uns keiner? *Nachrichten Aus Der Chemie*, 67(12), 10–12.  
<https://doi.org/10.1002/nadc.20194091604>
- Rowe, M. B. (1972). *Wait-Time and Rewards as Instructional Variables: Their Influence on Language, Logic, and Fate Control*.
- Rowe, M. B. (1986). Wait Time: Slowing Down May Be A Way of Speeding Up! *Journal of Teacher Education*, 37(1), 43–50.  
<https://doi.org/10.1177/002248718603700110>

- Sacher, J. (2018). Unterrichtskommunikation und -interaktion als Professionalisierungsthemen in der Lehrer\*innenausbildung. In C. G. Caruso, J. Hofmann, A. Rohde, & K.-S. Schick (Hrsg.), *Sprache im Unterricht: Ansätze, Konzepte, Methoden* (S. 103–118). WVT, Wissenschaftlicher Verlag Trier.
- Schmidt, S. & Parchmann, I. (2011). Schülervorstellungen—Lernhürde oder Lernchance? *Pädagogik der Naturwissenschaften*, 60(3), 15–20.
- Schmölzer-Eibinger, S., Dorner, M., Langer, E. & Helten-Pacher, M.-R. (2013). *Sprachförderung im Fachunterricht in sprachlich heterogenen Klassen* (1. Auflage). Fillibach bei Klett.
- Schmölzer-Eibinger, S. & Langer, E. (2010). Sprachförderung im naturwissenschaftlichen Unterricht in mehrsprachigen Klassen. Ein didaktisches Modell für das Fach Chemie. *Fachunterricht und Deutsch als Zweitsprache*, 2.
- Schneider, H., Becker-Mrotzek, M., Sturm, A., Jambor-Fahlen, S., Neugebauer, U., Efinger, C. & Kernen, N. (2022). *Wirksamkeit von Sprachförderung*. 71.
- Schroeter-Brauss, S., Wecker, V. & Henrici, L. (2018). *Sprache im naturwissenschaftlichen Unterricht: Eine Einführung*. Waxmann.
- Schulz, A. (2011). *Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht: Eine Videostudie*. Logos-Verlag.
- Seidl, S., Gröger, M. & Schmölzer, B. (2022). Am Anfang steht die Antwort: Analyse von Redebeiträgen von Lernenden im chemieunterrichtlichen Diskurs. *Tageband der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik*, 22. [https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2022/TB2022\\_504\\_Seidl.pdf](https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2022/TB2022_504_Seidl.pdf)
- Sgoff, M., Bezler, H. J., Albrecht, U. & Knapp, J. (2005). Wasserstoff macht immer nur eine Bindung. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule : PdN*, 54(2), 6–9.
- Sieve, B. (2021). *Fallen und Stolpersteine in der Verwendung der chemischen Fachsprache—Ideen für die Aus- und Fortbildung von Chemielehrkräften*. 1, 17–21.
- Sieve, B. & Bernholt, S. (2021). *Die Chemische Symbolsprache im Unterricht. Denkansätze und Hinweise für die Praxis*. Heft 181, 10–12.
- Sieve, B. & Hilker, F. (2019). *Wie sag ich's meinem Kinde?* 5(173), 2–9.
- Sieve, B., Struckmeier, S. & Böhm, D. (2022). Vom Atommodell zur Formelsprache. In B. Sieve, S. Struckmeier, & D. Böhm, *Experimente im Chemieunterricht Band 1* (S. 253–285). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-63905-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-662-63905-4_11)
- Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-Oriented Chemistry Education. *Science & Education*, 22(7), 1873–1890. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9401-0>

- Sjöström, J., Eilks, I. & Talanquer, V. (2020). Didaktik Models in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 910–915. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01034>
- Stäudel, L., Franke-Braun, G. & Parchmann, I. (2008). Sprache, Kommunikation und Wissenserwerb im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, 19(106/107), 4–9.
- Steinke, I. (1999). *Kriterien qualitativer Forschung: Ansätze zur Bewertung qualitativ-empirischer Sozialforschung*. Juventa-Verlag.
- Streller, S., Bolte, C., Dietz, D. & Noto La Diega, R. (2019). Sprache und Chemieunterricht. In *Chemiedidaktik an Fallbeispielen: Anregungen für die Unterrichtspraxis* (S. 37–49). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-58645-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-58645-7_4)
- Strippel, C. & Bohrmann-Linde, C. (2018a). Fachsprache und Begriffsbildung. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher, & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (1. Auflage, vollständige Neubearbeitung). Friedrich, Aulis.
- Strippel, C. & Bohrmann-Linde, C. (2018b). Sprachliche Interaktionen und sprachsensibler Chemieunterricht. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher, & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (1. Auflage, vollständige Neubearbeitung, S. 709–722). Friedrich, Aulis.
- Strippel, C. & Sommer, K. (2018). Fachliche Grundlagen des Chemieunterrichts: Die Basiskonzepte der Chemie. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher, & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (1. Auflage, vollständige Neubearbeitung, S. 17–41). Friedrich, Aulis.
- Strübing, J., Hirschauer, S., Ayaß, R., Krähnke, U. & Scheffer, T. (2018). Gütekriterien qualitativer Sozialforschung. Ein Diskussionsanstoß. *Zeitschrift Für Soziologie*, 47(2), 83–100. <https://doi.org/10.1515/zfsoz-2018-1006>
- Studhalter, U. T., Leuchter, M., Tettenborn, A., Elmer, A., Edelsbrunner, P. A. & Saalbach, H. (2021). Early science learning: The effects of teacher talk. *Learning and Instruction*, 71, 101371. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101371>
- Sumfleth, E., Kobow, I., Tunali, N. & Walpuski, M. (2013). Fachkommunikation im Chemieunterricht. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann, & H. J. Vollmer (Hrsg.), *Sprache im Fach: Sprachlichkeit und fachliches Lernen* (Bd. 3, S. 265–276). Waxmann.
- Sumfleth, E. & Pitton, A. (1998). Sprachliche Kommunikation im Chemieunterricht: Schülervorstellungen und ihre Bedeutung im Unterrichtsa. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(2), 4–20.

- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: Drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(2), 156–168. <https://doi.org/10.1039/C3RP00012E>
- Tajmel, T. (2013). Möglichkeiten der sprachlichen Sensibilisierung von Lehrkräften naturwissenschaftlicher Fächer. *Fachbezogene Sprachförderung in Deutsch als Zweitsprache. Theoretische Konzepte und empirische Befunde zum Erwerb bildungssprachlicher Kompetenzen*. Weinheim, 198–211.
- Tajmel, T. & Hägi-Mead, S. (2017). *Sprachbewusste Unterrichtsplanung: Prinzipien, Methoden und Beispiele für die Umsetzung*. Waxmann.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179–195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Taskin, V., Bernholt, S. & Parchmann, I. (2017). Student Teachers’ Knowledge About Chemical Representations. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(1), 39–55. <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9672-z>
- Thürmann, E., Krabbe, H., Platz, U. & Schumacher, M. (2017). *Sprachbildung als Aufgabe aller Fächer und Lernbereiche: Erfahrungen mit Sprachberatung an Ganz-In-Gymnasien*. Waxmann.
- Tobin, K. (1987). The Role of Wait Time in Higher Cognitive Level Learning. *Review of Educational Research*, 57(1), 69–95. <https://doi.org/10.3102/00346543057001069>
- Tolsdorf, Y. & Markic, S. (2018). Diagnostik der Sprache im Chemieunterricht. Diagnostische Instrumente für die Planung eines sprachsensiblen Unterrichts. *MNU Journal*, 71(5), 334–339.
- Tuor, N. (2013). „...Damit das Mündliche nicht zu kurz kommt.“ Überzeugungen von Lehrpersonen zur Förderung der mündlichen Sprachfähigkeiten. In B. Eriksson, M. Luginbühl, & N. Tuor (Hrsg.), *Sprechen und Zuhören—Gefragte Kompetenzen? Überzeugungen zur Mündlichkeit in Schule und Beruf* (1. Aufl, S. 35–60). Hep, der Bildungsverlag.
- VERBI Software. (2020). MAXQDA 2020 [Software]. Berlin: VERBI Software. [maxqda.com](http://maxqda.com)
- Vollmer, G. (1989). Darf man Falsches lehren?: Eine wissenschaftsdidaktische Überlegung. *The Science of Nature*, 76(5), 185–193. <https://doi.org/10.1007/BF00627684>
- Völz, I. (2016). *Lexikalische Textgliederung beim wissenschaftlichen Schreiben in der Fremdsprache Deutsch: Eine empirische Untersuchung zum Erwerb und Gebrauch textorganisierender Ausdrücke durch internationale DaF-Studierende*. Kassel University Press.

- Voß, T. & Wagner, W. (2023). Fach- und Grundbegriffe in Schulbüchern der Chemie. *CHEMKON*, 30(1), 30–26. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100030>
- Vygotskij, L. S., Helm, J. & Wygotski, L. S. (1977). *Denken und Sprechen* (Unveränd. Abdr. der 5., korr. Aufl. 1974). Fischer-Taschenbuch-Verlag.
- Vygotskij, L. S. & Métraux, A. (2017). *Denken und Sprechen: Psychologische Untersuchungen* (J. Lompscher & G. Rückriem, Hrsg.; 3., neu ausgestattete Auflage). Beltz.
- Wagenschein, M. (1995). *Die pädagogische Dimension der Physik* (1. Neuaufl.). Hahner Verlagsgesellschaft.
- Wiener, J., Schmeling, S. & Hopf, M. R. (2017). Elementarteilchenphysik im Anfangsunterricht. *Prax. Nat. wiss. Phys. Sch.*, 66(CERN-OPEN-2017-013), 15–21.
- Wlotzka, P. & Sieve, B. (2020). *Bilder, Graphiken und Co.* 176, 2.
- Wuttke, E. (2005). *Unterrichtskommunikation und Wissenserwerb: Zum Einfluss von Kommunikation auf den Prozess der Wissensgenerierung*. P. Lang.
- Zwahr, A. (2006). *Brockhaus Enzyklopädie in 30 Bänden* (21. völlig neu bearbeitete Aufl.). F. A. Brockhaus.

## 10 Anhang

# Ampelkarten

Ampelkarten sind Tools zur Motivation gehaltvoller und vollständiger Redebeiträge.

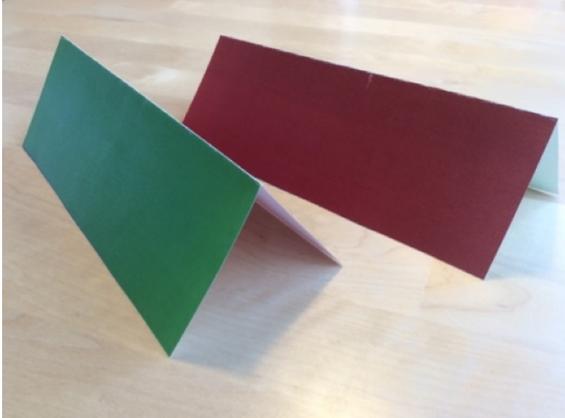


Abbildung 73. Ampelkarten (eigene Aufnahme)

## Didaktisches Ziel der Ampelkarten

Tabelle 33: Didaktische Ziele in Bezug auf die Verwendung von Ampelkarten

Für Lernende	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Hilfestellung bei der Formulierung von vollständigen Redebeiträgen (Fragen und Antworten)</li><li>▪ Hilfestellung hinsichtlich einer fach- und bildungssprachlich adäquaten Ausdrucksweise</li></ul>
Für Lehrpersonen	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Tool zur Motivation fach- und bildungssprachlich adäquater Ausdrucksweise im Fachunterricht für Lernende</li><li>▪ Tool zum Monitoring aktiver mündlicher Mitarbeit</li></ul>

## Funktionsweise von Ampelkarten im Unterricht

Ampelkarten haben eine rote und eine grüne Fläche. Sie stehen auf der Schulbank vor den Lernenden. Am Anfang des Unterrichts/Themas steht die Ampel auf „Rot“, die roten Flächen sind für die Lehrperson sichtbar. Wird auf eine Frage geantwortet und diese Antwort erfolgt in einem vollständigen Satz, wird die Ampelkarte auf „Grün“ gestellt (Ampelkarte wird umgedreht). Wenn die Antwort nicht komplett korrekt ist

bzw. Unklarheiten im Redebeitrag enthalten sind, wird eine Überformung mit dem Lernenden gemeinsam (!), in Ruhe und in der Geschwindigkeit des Lernenden getätigt. Hierbei ist besonders auf die Klärung von Verweiswörtern zu achten. Auch bei der Formulierung einer Frage wird die Ampelkarte auf „Grün“ gestellt, sobald die Frage in einem vollständigen, bildungs- bzw. fachsprachlich soliden Format generiert wurde.

#### Wichtige Hinweise vor Beginn des Einsatzes der Ampelkarten

Die Lernenden sind darauf hinzuweisen, Verben, andere Satzbausteine oder Fachbegriffe aus der Fragestellung der Lehrperson in ihre eigenen Antworten einzubauen. Dies steigert die Qualität des Redebeitrags und trägt zum aktiven Fachsprachenerwerb bei. Des Weiteren sei zu kommunizieren, dass es sich beim Einsatz der Ampelkarten lediglich um eine spielerische Übung handelt und dabei keinerlei Konsequenzen für die Lernenden entstehen. Es sei betont, dass es ausschließlich um die Praxis der Fachsprache geht. Schließlich agiert die auf der Schulbank positionierte Ampelkarte für Lernende als konstanter *reminder*, Redebeiträge in vollständigen Sätzen zu formulieren.

