



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Wie verändern sich die Vorstellungen von Chemielehr-
amtsstudierenden zum Thema ‚Säuren und Basen‘ im
Verlauf der Lehrveranstaltung „Einführung in die Didaktik
der Chemie“?“

verfasst von / submitted by

Clemens Engelmann

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 020 423

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF katholische Religion
UF Chemie

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, 02.07.2020

Unterschrift

(Clemens Engelmann)

DANKSAGUNG

Damit eine wissenschaftliche Arbeit zustande kommt, wird immer eine Mehrzahl an Personen benötigt. Hier ist nun die Zeit, mich bei allen Menschen zu bedanken, welche die Erstellung dieser Diplomarbeit ermöglicht haben.

Zuallererst möchte ich mich bei Frau Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens für die Betreuung der Arbeit bedanken.

Ein weiterer Dank gilt dem Team des AECC Chemie, welches immer wieder Anregungen zur besseren Gliederung und Umsetzung der Arbeit gab.

Natürlich wäre diese Diplomarbeit nicht ohne die finanzielle und moralische Unterstützung meiner Eltern zu bewerkstelligen gewesen. Besonders hervorheben möchte ich den Beitrag meiner Mutter, die sich die Zeit genommen hat und Teile meiner Diplomarbeit Korrektur gelesen hat.

Zuletzt möchte ich mich noch bei meiner Freundin bedanken, da auch sie durch ihre stetige moralische Unterstützung und ihren Zuspruch diese Arbeit ermöglicht hat.

INHALTSVERZEICHNIS

I.	Einleitung	1
1.	Theorieteil	6
1.1.	„Säuren und Basen“ Fachlich-chemische Modelle	6
1.1.1.	„Säuren und Basen“ – Darstellung der historischen Entwicklung	6
1.1.2.	Das Modell nach Arrhenius	9
1.1.3.	Das Modell nach Brønsted	12
1.1.4.	Das Modell nach Lewis	14
1.2.	Fachdidaktische Perspektive	16
1.2.1.	Warum Lernen und Lehren eine Herausforderung darstellt	17
1.2.2.	Lernendenvorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“	22
1.2.3.	Lehrendenvorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“	27
1.2.3.1.	Bedeutung von Schulbüchern.....	30
1.2.3.2.	Analyse zweier ausgewählter Websites.....	31
1.3.	Fachliche Klärung zu den Aussagen 6-10 des Fragebogens	35
1.3.1.	6. „Säuren sind ätzend“	35
1.3.2.	7. „Basen schmecken seifig“	36
1.3.3.	8. Metall mit Säure, Bildung von Wasserstoff und Salz	37
1.3.4.	9. Neutralisationsreaktion, Bildung von Salz und Wasser	38
1.3.5.	10. Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7	39
2.	Empirischer Teil	42
2.1.	Beschreibung des Forschungsfelds	42
2.1.1.	Einführende universitäre Veranstaltungen	43
2.2.	Beschreibung des Fragebogens	45

2.3.	Beschreibung der Daten	46
2.4.	Das Kategoriensystem.....	47
2.4.1.	Vorgehensweise bei der Erstellung des Kategoriensystems.....	47
2.4.2.	Die Musterbegründungen.....	49
2.4.3.	Beschreibung der Überkategorien.....	49
2.4.4.	6. „Säuren sind ätzend“	51
2.4.4.1.	Musterbegründung	51
2.4.4.2.	(A) Fachlich angemessene Begründungen.....	52
2.4.4.3.	(B) Fachlich unangemessene Begründungen.....	53
2.4.4.4.	(C) Nicht genügend Aussagekraft.....	54
2.4.4.5.	(D) Unklare Begründungen.....	55
2.4.4.6.	(E) „Ich weiß es nicht“	56
2.4.5.	7. „Basen schmecken seifig“	56
2.4.5.1.	Musterbegründung	56
2.4.5.2.	(A) Fachlich angemessene Begründungen.....	57
2.4.5.3.	(B) Fachlich unangemessene Begründungen.....	57
2.4.5.4.	(C) Nicht genügend Aussagekraft.....	58
2.4.5.5.	(D) Unklare Begründungen.....	59
2.4.5.6.	(E) „Ich weiß es nicht“	60
2.4.6.	8. Metall mit Säure, Bildung von Wasserstoff und Salz	61
2.4.6.1.	Musterbegründung	61
2.4.6.2.	(A) Fachlich angemessenen Aussagen/Begründungen.....	61
2.4.6.3.	(B) Fachlich unangemessene Begründungen.....	62
2.4.6.4.	(C) Nicht genügend Aussagekraft.....	63
2.4.6.5.	(D) Unklare Aussagen/Begründungen	65

2.4.6.6.	(E) „Ich weiß es nicht“	65
2.4.7.	9. Neutralisationsreaktion, Bildung Wasser und Salz	66
2.4.7.1.	Musterbegründung	66
2.4.7.2.	(A) Fachlich angemessene Begründungen.....	66
2.4.7.3.	(B) Fachlich unangemessene Begründungen.....	66
2.4.7.4.	(C) Nicht genügend Aussagekraft.....	69
2.4.7.5.	(D) Unklare Begründungen	70
2.4.7.6.	(E) „Ich weiß es nicht“	71
2.4.8.	10. Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7	72
2.4.8.1.	Musterbegründung	72
2.4.8.2.	(A) Fachlich angemessene Aussagen/Begründungen.....	73
2.4.8.3.	(B) Fachlich unangemessene Aussagen/Begründungen.....	73
2.4.8.4.	(C) Nicht genügend Aussagekraft.....	74
2.4.8.5.	(D) Unklare Aussagen/Begründungen	75
2.4.8.6.	(E) „Ich weiß es nicht“	76
3.	Auswertung.....	77
3.1.	Bewertung der Aussagen durch die Studierenden.....	77
3.1.1.	Bewertungen „Vorher“ im Zeitraum 2013-2016	77
3.1.2.	Bewertung „Vorher“ im Zeitraum 2016/17-2019	79
3.1.3.	Bewertung „Nachher“ im Zeitraum 2016/17-2019	80
3.1.4.	Veränderungen im Vergleich „Vorher“ zu „Nachher“	81
3.2.	Begründungen der Studierenden	83
3.2.1.	6. „Säuren sind ätzend“	83
3.2.2.	7. „Basen schmecken seifig“	86
3.2.3.	8. Metall mit Base, Bildung von Wasserstoff und Salz	90

3.2.4.	9. Neutralisationsreaktion, Bildung von Wasser und Salz	94
3.2.5.	10. Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7	97
3.3.	Erkenntnisse	101
3.4.	Empfehlungen.....	107
4.	Verzeichnisse	109
4.1.	Literaturverzeichnis / Quellenverzeichnis	109
4.2	Abbildungsverzeichnis	116
5.	Zusammenfassung	118
6.	Anhang	119
6.1.	Fragebogen	119

I. Einleitung

Beim Thema ‚Säuren und Basen‘ handelt es sich um ein komplexes Themengebiet mit etlichen Unterbereichen, die aufeinander aufbauen und sich korrekt nur in ihrer Gesamtheit verstehen lassen. Die Thematik ist im Curriculum für alle Schüler*innen sowohl in der Unter- als auch in der Oberstufe verschiedenster Schultypen (vgl. BMBWF, 2018) und in den Kompetenzmodellen der Naturwissenschaften (vgl. bifie, 2011) verankert. Weiters werden Studierende im Fachbereich Chemie im Rahmen ihres universitären Bildungsweges immer wieder besonders mit dieser zentralen Thematik konfrontiert.

Zu Beginn der Recherche zum Thema ‚Säuren und Basen‘ fiel mir mehrmals auf, dass sowohl Lernende als auch Lehrende unterschiedlichste Vorstellungen zu diesem Thema haben. Diese sind oft unangemessener Natur und äußerst veränderungsresistent (vgl. Barke, 2015; Drechsler et al., 2008; Lembens, 2017; Lembens et al., 2017; Van Driel et al., 1999, 2002). Da auch ich nach Absolvierung der universitären Veranstaltungen zur Thematik ‚Säuren und Basen‘ noch mit einigen Vorstellungen zu kämpfen hatte, bot sich eine Diplomarbeit zur Vertiefung und Ergänzung sowohl des Fachwissens als auch der Fachdidaktik an.

Die Ursachen für die unterschiedlichen Vorstellungen im Bereich ‚Säuren und Basen‘ sind mehrschichtig. Wissenschaftsgeschichtlich haben zwei Modelle zur Beschreibung von Säure-Base-Reaktionen eine vorrangige Stellung. Zum einen beschreibt das Modell nach Arrhenius ‚Säuren‘ bzw. ‚Basen‘ als Stoffe, die in wässriger Lösung unter Bildung von Wasserstoffionen bzw. Hydroxidionen dissoziieren. Das Modell nach Brønsted hingegen beschreibt Säure-Base-Reaktionen als Protonenübertragungsreaktionen und diese sind demnach ein zentrales Beispiel für das „Donator-Akzeptor-Konzept“. Nach Brønsted (und Lowry) sind Säuren Teilchen, also Moleküle oder Ionen, die Protonen/ H^+ -Ionen abspalten können, auch Protonendonatoren genannt. Basen sind Teilchen, die Protonen aufnehmen können, demnach sind sie Protonenakzeptoren (vgl. Mortimer, 2014, S.234; Barke, 2015, S.11).

In der Schulbildung wird sowohl das Modell nach Arrhenius als auch das nach Brønsted gelehrt und daher kann es zu Mischkonzepten kommen (vgl. Lembens 2017;

Lembens, Becker 2017; Lembens, Reiter 2018 a, b). Diese drücken sich durch sprachliche Ungenauigkeiten aus, welche nicht klar zwischen den Modellen unterscheiden (vgl. Barke, 2015, S.10). In den meisten Schulbüchern wird das Modell nach Arrhenius vor dem Brønsted-Modell gelehrt (vgl. Lembens, Becker, 2017, S.13) und erst später durch den Bezug auf die „sub-micro Ebene“ durch dieses erweitert, um ein Kommunizieren auf der Ebene der Symbole zu ermöglichen (vgl. Johnstone, 2000, S.11).

Mehrere Studien in den vergangenen Jahren haben aber gezeigt, dass die meisten Lernenden Probleme beim Wechsel vom Arrhenius-Modell zu Brønsted haben und dementsprechend die Modelle nicht zur Gänze verstehen können (vgl. Lin, Chiu, 2009). *„Despite learning and knowing the new Brønsted or Lewis model in upper secondary school, learners see no significance for a conceptual change and retain the Arrhenius model they initially apprehended, and additionally, they mix up the different models without being aware of this.“* (Lembens, 2017, S.28). Zusätzlich fehlt es aber auch am Bewusstsein der Lehrkräfte für diese Problemlage und die Wichtigkeit der genauen Differenzierung zwischen den Modellen (vgl. Liu et al., 2013).

Schon als Schüler*in wird man durch den alltäglichen Wortgebrauch von Wörtern wie „sauer, basisch, Säure, Lauge, Base, ...“ auf die Säure-Base-Thematik aufmerksam gemacht und die jungen Lernenden verbinden damit Alltags- und Halbwissen, welches größtenteils keine wissenschaftlich und sprachlich korrekte Basis aufweist. Dieser unreflektierte Wortgebrauch zieht sich bis ins Studium weiter. Auch in der universitären Lehre wird dieser kaum reflektiert, da man einen „Laborjargon“ verwendet, der meist nicht auf die sprachlichen Feinheiten der unterschiedlichen Erklärungsmodelle eingeht, wodurch eine Besserung des Verstehens nur schwer möglich ist.

Die umfangreiche und schwierige Quellenlage ist ein weiterer wichtiger Grund für die auftretenden Schwierigkeiten. Man erhält durch die universitäre Bildung und durch die modernen Medien Zugang zu einer fast unbegrenzten Quellenvielfalt, welche sich aber wiederum oft durch einen unspezifischen Sprachgebrauch und widersprüchliche Aussagen auszeichnet. Außerdem wird einerseits eine Kommunizierfähigkeit auf der Symbolebene (vgl. Johnstone, 2000, S.11) vorausgesetzt und andererseits enthalten diese Quellen oft Aussagen, die nicht klar zwischen den Modellen, sei es durch sprachliche Ungenauigkeiten oder durch die Verwendung von Alltagsbegriffen, unterscheiden.

Durch einen unreflektierten Umgang mit diesen Quellen werden immer mehr Vorstellungen gebildet, die sich dann in den Köpfen der Lernenden festsetzen und in der Folge nur schwer zu korrigieren sind (vgl. Cetin et al., 2017). Dies drückt sich in einer Zunahme der Verwirrung und der Unsicherheiten bezüglich der Bearbeitung von Fragestellungen in diesem Zusammenhang aus.

Lernende beziehen ihre Informationen demzufolge aus drei Quellen: Alltagswissen, Arrhenius und Brønsted. Jedoch fällt es schwer, diese voneinander getrennt zu halten, da sie auf verschiedenen Ebenen argumentieren und sich bei Vermischung gegenseitig behindern. Das führt dazu, dass die Begriffe ‚Säure‘ und ‚Base‘ in gleicher Weise für saure und basische Lösungen und auch saure und basische Teilchen verwendet werden. Die „Vermischung der Begriffe“ (vgl. Barke, 2015) führt zu Verwirrung und äußert sich meist in einem Sprachgebrauch, der zwischen der Teilchenebene und der Phänomenebene, sowie den spezifischen Begriffen der Modelle nicht differenziert. Hier bietet sich das Johnstone Dreieck an, denn es ist *„chemiedidaktisch evident, die Ebene der Substanzen ("macro level") zu trennen von der Ebene der Teilchen und chemischen Strukturen ("sub-micro level"), um später zu erreichen, dass die Lernenden auf der Ebene der Symbole ("representational level") erfolgreich arbeiten können“* (Barke, 2015, S. 12).

Welche Vorstellungen Chemielehramtsstudierende zum Thema ‚Säuren und Basen‘ haben und wie sich diese nach Absolvierung einer diesem Thema gewidmeten Lehrveranstaltung verändern, ist Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit.

Dafür wird ein zehn Aussagen umfassender Fragebogen eingesetzt, der von Studierenden des Lehramts Chemie im Rahmen des Seminars „Einführung in die Didaktik der Chemie“ ausgefüllt wurde. Chemielehramtsstudierende an der Universität Wien wurden seit dem Wintersemester 2012/13 im Rahmen dieser Lehrveranstaltung gebeten, klassische Aussagen aus dem ‚Säure-Base‘-Kontext als „richtig“ oder „nicht richtig“ zu bewerten. *„Ziel dieser Befragung ist es, mit den Studierenden des Unterrichtsfaches Chemie in eine Diskussion einzusteigen und sie zu einer Reflexion ihrer eigenen Vorstellungen anzuregen, um die Bedeutung der Thematisierung und Bearbeitung von SchülerInnenvorstellungen für das Lehren und Lernen von Chemie ins Bewusstsein der angehenden LehrerInnen zu heben.“* (Lembens, Becker, 2017, S.12). Ab dem

Wintersemester 2016/17 wurden die Studierenden zusätzlich gebeten, ihre getroffene Wahl zu begründen.

Die Daten, welche bis inklusive Sommersemester 2019 339 Chemielehramtsstudierende umfassen, liegen in Form von Rohdaten in einer Exceldatei vor. Seit dem Wintersemester 2016/17 wurden die Fragebögen auch am Ende des jeweiligen Semesters von den teilnehmenden Studierenden ausgefüllt und die Daten erfasst, um die Veränderung der Bewertung der Aussagen von „vorher“, also zu Beginn der Lehrveranstaltung, zu „nachher“, also am Ende des jeweiligen Semesters, zu analysieren.

Die Analyse der Datensätze wird in zwei Abschnitten von Frau Laura Menard und mir durchgeführt. Frau Menard wird dabei in der Diplomarbeit mit dem Titel „Welche Vorstellungen zum Thema ‚Säuren und Basen‘ besitzen Chemielehramtsstudierende in der fachdidaktischen Einführungsveranstaltung?“ alle Daten zu den Aussagen Eins bis Fünf auswerten und die Veränderung „vorher“ zu „nachher“ im Laufe der Lehrveranstaltung bearbeiten. In der vorliegenden Arbeit werde ich analog dazu die Datensätze der Aussagen Sechs bis Zehn analysieren. Ziel der Untersuchung ist es, empirische Daten über die Art der Schwierigkeiten, die Studierende bei der Bearbeitung von Fragestellungen im Kontext ‚Säure-Base‘ haben, zu erhalten.

Diese Diplomarbeit ist in drei große Abschnitte geteilt. Der erste Teilbereich („Theorieteil“) umfasst die Darstellung der fachlich chemischen Modelle und der fachdidaktischen Ansätze zum Thema ‚Säuren und Basen‘, sowie eine fachliche Klärung zu den Aussagen Sechs bis Zehn. Dieser Teil ist, bis auf die „fachliche Klärung zu den Aussagen“ (1.3), mit der Diplomarbeit von Frau Menard ident. Aus diesem Grund teilen sich Frau Menard und ich die Ausarbeitung der Teile 1.1 und 1.2. Dabei übernehme ich die Ausarbeitung der Teile 1.1. (Fachlich chemische Modelle), sowie Punkt 1.2.3.1. (Bedeutung von Schulbüchern) und 1.2.3.2. (Analyse zweier ausgewählter Websites). Die „Fachdidaktische Perspektive“ (1.2) wird von Frau Menard beschrieben. Die betroffenen Abschnitte werden entsprechend gekennzeichnet.

Im zweiten Abschnitt („Empirischer Teil“) werden das Forschungsfeld, der Fragebogen, die vorliegenden Daten, die Entwicklung des Kategoriensystems und das Kategoriensystem beschrieben. Die Entwicklung eines Kategoriensystems zur Auswertung

der gegebenen Begründungen war aufgrund der Fülle an verschiedenen Vorstellungen der Studierenden notwendig.

Im dritten Teil („Auswertung“) werden die Ergebnisse der Auswertung der Daten graphisch dargestellt, beschrieben und interpretiert. Es wird dabei besonderes Augenmerk auf die Veränderung der Bewertung und der Begründungen im Vergleich „vorher“ zu „nachher“ gelegt.

1. Theorieteil

1.1. „Säuren und Basen“ Fachlich-chemische Modelle

Dieser Abschnitt beginnt mit einer Klärung, wie sich die Betrachtungsweise von „Säuren und Basen“ mit der Zeit gewandelt hat. Anschließend wird die heutige Sicht auf Säure-Base-Reaktionen mit den drei vorherrschenden Modellen, die Modelle nach Arrhenius, Brønsted und Lewis, fachlich vorgestellt.

1.1.1. „Säuren und Basen“ – Darstellung der historischen Entwicklung

So wie die meisten chemischen Erklärungsmodelle hat sich auch die Beschreibung und Visualisierung der Vorgänge in der Säure-Base-Thematik mit der Zeit weiterentwickelt. Zu Beginn ging es noch weniger um die Beschreibung der chemischen Abläufe auf der Teilchenebene, sondern es wurde nach Charakteristika für eine allgemeingültige Einteilung der Substanzen gesucht. Erst später entwickelten sich Modelle, welche auch die ablaufenden Mechanismen auf der Teilchenebene zu erklären versuchten.

Chemisch gearbeitet und gedacht wurde nicht erst mit dem Aufkommen der modernen Wissenschaften in der Zeit der Aufklärung, sondern die ersten Bemühungen einer Charakterisierung der Stoffe stammen schon aus dem alten Ägypten und dem hellenistischen Griechenland (vgl. Lindsay, 1970).

Vor der Entwicklung moderner Analysemethoden musste man sich noch auf die eigenen Sinne in der Einteilung der unterschiedlichen Stoffe verlassen. Dabei wurden „Säuren und Basen“ als Stoffe angesehen, die man durch ihre geschmacklichen Eigenschaften einteilen konnte und man sagte Säuren einen sauren Geschmack und Basen seifige Eigenschaften nach.

Mit der Entstehung der modernen Naturwissenschaften im 17. und 18. Jahrhundert wurde diese Einteilung durch die Einführung von Modellen zur Beschreibung der ablaufenden Vorgänge abgelöst. Der Erste, der Charakterisierungen über den sauren Geschmack hinaus vornahm, war Robert Boyle. 1663 beobachtete er, dass sich der

Pflanzenfarbstoff Lackmus durch Kontakt mit sauren Lösungen rot färbt und Marmor sowie Zink gelöst werden.

Antoine Lavoisier beobachtete knapp 100 Jahre später, dass in der Reaktion von Sauerstoff mit Schwefel, Phosphor oder Kohlenstoff Nichtmetalloxide gebildet werden, die in wässriger Lösung saure Eigenschaften aufweisen. Für ihn waren daher Säuren Stoffe, die aus einem Nichtmetall und Sauerstoff entstehen. Lavoisier war der Meinung, dass Säuren immer aus der Reaktion von Wasser mit Nichtmetalloxiden, bzw. Basen in der Reaktion des Wassers mit Metalloxiden entstünden.



Er schlug ebenfalls für die Benennung des Elementes Sauerstoff das griechische Wort „Oxygenium“ vor, was so viel wie Säurebildner bedeutet, da man zu dieser Zeit noch Sauerstoff als das eigenschaftsbestimmende Element von Säuren ansah (vgl. Barke, 2006, S. 11).

Der englische Chemiker Humphry Davy, welcher 1810 sein Modell zu ‚Säuren und Basen‘ veröffentlichte, war der Erste, der das chemische Element Wasserstoff in die Säure-Base-Thematik einbrachte, da er mit der Charakterisierung nach Lavoisier manche Beispiele nicht zuordnen konnte. Zum Beispiel hatte Chlorwasserstoff (HCl) in wässriger Lösung eindeutig saure Eigenschaften, jedoch ist dies kein Oxid. Da Sauerstoff nicht mehr als der gemeinsame Nenner in Frage kam, wandte er sich dem chemischen Element zu, welches in all diesen Verbindungen vorkam. Sein Modell besagt daher, dass alle Säuren Wasserstoffatome (H) enthalten müssen und dieser für die chemischen Eigenschaften verantwortlich ist. (vgl. Barke, 2006, S.12)

Diese Erklärung wurde breit rezipiert und erst durch die Erkenntnisse des schwedischen Chemikers Svante Arrhenius abgelöst. Arrhenius erkannte, dass sich bestimmte Verbindungen mithilfe eines polaren Lösungsmittels, in den meisten Fällen Wasser, in Ionen und Atome spalten lassen. In der Regel entstehen dabei negativ geladene Anionen und positiv geladene Kationen. Diese Ionen leiten den elektrischen Strom und man nennt daher solche Lösungen auch Elektrolyte. Diesen Vorgang der Spaltung in Ionen nannte er „elektrolytische Dissoziation“. Dabei sind laut ihm ‚Säuren‘ und ‚Basen‘ Stoffe, die in der Reaktion mit Wasser in Ionen dissoziieren. Säuren spalten in Wasser

Protonen und Basen spalten Hydroxidionen ab und diese sind für die sauren bzw. basischen Eigenschaften verantwortlich.

Brønsted und Lewis veröffentlichten fast gleichzeitig im Jahre 1923 ihre Modelle und bezogen sich dabei nicht mehr auf die Stoffebene, sondern sie gingen von Teilchen aus, die Protonen (Brønsted) bzw. Elektronenpaare (Lewis) übertragen können. Diese Herangehensweise ist nicht mehr an polare Lösungsmittel gebunden, denn es können auch Reaktionen in der Gasphase beschrieben werden und es wird dadurch möglich, eine größere Bandbreite an Reaktionen als Säure-Base-Reaktionen zu klassifizieren. Nach Brønsted sind Säuren Teilchen, welche Protonen abgeben können und Basen sind Teilchen, welche Protonen aufnehmen können. Diese beiden Vorgänge laufen immer gekoppelt als Säure-Base-Reaktionen ab. Wenn ein Teilchen ein Proton abgibt, muss auch ein Teilchen vorhanden sein, welches dieses Proton aufnehmen kann. In wässrigen Lösungen werden auch keine Protonen (H^+), sondern Oxoniumionen (H_3O^+) gebildet, da Protonen auf Wassermoleküle übertragen werden. Bei der Reaktion einer Brønstedbase mit einem Wassermolekül, reagiert Letzteres als Brønstedsäure und gibt ein Proton an das Baseteilchen ab. Dabei wird ein Hydroxidion gebildet. Die gebildeten Oxonium- bzw. Hydroxidionen sind für die sauren bzw. basischen Eigenschaften verantwortlich.

Lewis machte seine Theorie an der Übertragung von Elektronenpaaren fest. Eine Lewissäure ist demnach ein Teilchen, welches Elektronenpaare aufnehmen kann und eine Lewisbase ist ein Teilchen, welches ein Elektronenpaar abgeben kann. Ein Teilchen, das Protonen abgibt, wäre nach Lewis ein Teilchen, das ein Elektronenpaar aufnimmt. Man ist durch die Elektronenpaarübertragung bei Lewis auch nicht mehr auf Verbindungen mit Wasserstoffatomen angewiesen und es handelt sich hier um eine allgemeinere Definition als das Modell nach Brønsted.

Diese drei Modelle (Arrhenius, Brønsted und Lewis) haben seit ihrer Veröffentlichung Anfang des 19. Jahrhunderts Eingang in fast alle Schul- und Lehrbücher, sowie Curricula der universitären Bildung gefunden und prägen unsere Lehr- und Denkweisen zur Beschreibung der Vorgänge bei Säure-Base-Reaktionen. Arrhenius wird auch heute noch als Einstieg in die Säure-Base-Thematik gelehrt und meist erst später durch das Modell nach Brønsted abgelöst (vgl. Lembens, Becker, 2017, S.15). In der universitären Bildung wird noch das Modell nach Lewis als alternatives Erklärungsmodell den

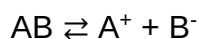
Studierenden nähergebracht, da es auch Fälle in der Chemie abdeckt, die nach Brønsted nicht erklärbar, bzw. nicht zu Säure-Base-Reaktionen zu zählen wären.

Auch in der jüngeren Vergangenheit wurden Versuche gemacht, neue Erklärungsmodelle zu etablieren, diese haben sich aber bis jetzt nicht durchsetzen können. Als eines der prominenteren Beispiele wäre das Modell nach Gutman und Lindqvist, welche 1954 ihre Überlegungen vorstellten, zu nennen. Dabei handelt es sich um Vorstellungen, „[...] in which the transfer of ions is emphasized. An acid is defined as a cation donor/anion acceptor and a base as a cation acceptor/anion donor“. (Drechsler, Schmidt 2005, S.21). Laut dieser Definition wäre auch das Modell nach Brønsted mit der Übertragung der positiv geladenen Ionen, den Protonen, unter diese allgemeinere Formulierung zu subsumieren.

Diese jüngeren Erklärungsmodelle entfernen sich immer weiter von den klassischen ‚Säuren und Basen‘ und daher können diese vorerst für den Chemieunterricht vernachlässigt werden (vgl. Barke, 2006, S.13).

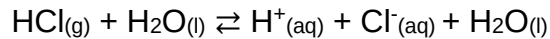
1.1.2. Das Modell nach Arrhenius

Aufbauend auf diversen Neuerungen im Forschungsfeld der Chemie formulierte der schwedische Chemiker Svante August Arrhenius 1901 in seinem „Lehrbuch der Elektrochemie“ sein Modell zur Erklärung der Vorgänge bei Säure-Base-Reaktionen. Beschrieben wurde vor allem die elektrolytische Dissoziation, welche einen reversiblen Zerfall von Molekülen in negativ geladene Anionen (B^- , engl. „base“, Base) und positiv geladene Kationen (A^+ , engl. „acid“, Säure) beschreibt (vgl. Riesenfeld, 1931, S.31).

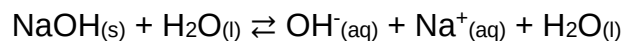


Diese Reaktion findet aber nur in polaren Lösungsmitteln, wie etwa Wasser (H_2O) statt. Die durch das Spalten von Stoffen in Ionen freiwerdende Gitterenergie wird durch die Solvatisierung der Ionen wiederverwendet, dabei lagern sich Wassermoleküle an die in der Lösung vorhandenen Ionen an. Dadurch können sich die Ionen frei im Lösungsmittel bewegen und sind für die elektrische Leitfähigkeit verantwortlich. Solche Lösungen mit frei beweglichen Ionen werden Elektrolyte genannt.

Bei sogenannten potenziellen Elektrolyten handelt es sich um Verbindungen ohne Ionenbindungen. Erst wenn diese Stoffe in Wasser gegeben werden, bilden sich durch die Reaktion der Stoffe mit dem Wasser Ionen aus. Als Beispiele sollen das Einbringen des Gases Chlorwasserstoff (g, engl. „gaseous“, gasförmig) in Wasser (l, engl. „liquid“, flüssig)

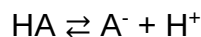


und das Lösen von festem Natriumhydroxid (s, engl. „solid“, fest) in Wasser dienen.

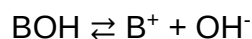


Das Verhalten dieser Stoffe in der Reaktion mit Wasser macht sie zu Säuren oder Basen. Säuren und Basen sind nach diesem Modell potenzielle Elektrolyte, dissoziieren also erst in der Reaktion mit Wasser in Ionen. Diese Bezeichnung wird nicht sehr häufig verwendet, gibt aber Einblick in die Entstehung der folgenden Definitionen.

Säuren sind nach Arrhenius Stoffe, die sich in wässrigen Lösungen in Wasserstoffionen und die negativ geladenen Anionen, sogenannte „Säurereste“ (A^-) spalten. Diese Stoffe „produzieren“ also positiv geladene Wasserstoffionen (H^+), auch Protonen genannt und diese Protonen sind für die Eigenschaften von Säuren verantwortlich. Als Vereinfachung der Schreibweise und da in der Anwendung dieses Modells klar ist, dass es nur in wässrigen Lösungen so abläuft, werden die Wassermoleküle in der Reaktionsgleichung weggelassen.



Analog dazu sind Basen Stoffe, welche sich in wässrigen Lösungen in Hydroxidionen (OH^-) und die positiv geladenen „Basenreste“ (B^+) spalten und diese Hydroxidionen sind für die basischen Eigenschaften verantwortlich.



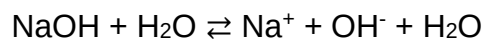
Säuren und Basen dissoziieren also in der Reaktion mit Wasser in Ionen. Bei diesen Reaktionen handelt es sich immer um Gleichgewichtsreaktionen und das bedeutet, dass sowohl die Hin- als auch die Rückreaktion gleichzeitig ablaufen und sich ein Gleichgewicht einstellt.

Im Mittelpunkt der Beschreibung nach Arrhenius steht die „Neutralisationsreaktion“, also die Reaktion zwischen Säure und Base, bei der Wasser gebildet wird. Die ebenfalls in der Lösung vorliegenden Säure- und Basereste bilden nur in ganz seltenen Fällen ein Ionengitter aus, sie bleiben in den meisten Fällen als Ionen in Lösung.

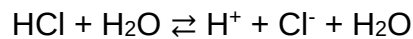
Allgemein formuliert:



Die Basereaktion als Beispiel mit der Base Natriumhydroxid in Wasser:



Die Säurereaktion als Beispiel mit der Säure Chlorwasserstoff in Wasser:



Die Neutralisationsreaktion zwischen einer Säure und einer Base zu Wasser und den Säure-/Baseresten:



Der Merksatz „*Säure und Base reagieren unter Bildung von Wasser und Salz*“ hat sich als einfache Beschreibung der Vorgänge bei der Neutralisationsreaktion etabliert. Die sich aus dieser Formulierung ergebenden Nachteile werden unter Punkt 1.3.4. ausführlich behandelt.

Bei einer Neutralisationsreaktion entsteht nicht zwangsläufig eine neutrale Lösung, wie vielleicht der Name der Reaktion impliziert. Für eine neutrale Lösung müssen äquimolare Teilchenzahlen an Protonen und Hydroxidionen miteinander reagieren. Diese Teilchenzahlen hängen von den Konzentrationen der sauren bzw. basischen Lösung, der Stärke der Säure- bzw. Baseteilchen und dem zugesetzten Volumen der Lösungen ab.

Das Modell nach Arrhenius ist in zweierlei Hinsicht eingeschränkt, nämlich müssen erstens nach der Definition für Basen, diese immer OH-Gruppen enthalten, da sich diese sonst nicht in Hydroxidionen und Basereste spalten können. Zweitens beschränken sich alle Vorgänge auf wässrige Medien, da nur in diesen die potenziellen Elektrolyte in der Reaktion mit Wasser in Ionen dissoziieren.

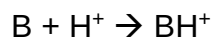
1.1.3. Das Modell nach Brønsted

Unzufrieden mit diesen Limitierungen des Modells nach Arrhenius, versuchte der dänische Chemiker Johannes Nicolaus Brønsted 1923 mit der Publikation seiner eigenen Säure-Base-Theorie diese Einschränkungen zu überwinden.

Dabei ging er nicht mehr von Stoffen, sondern von Teilchen aus. Säuren sind laut ihm daher Teilchen, in unserem Fall Moleküle oder Ionen, die Protonen/ H^+ -Ionen abgeben können und werden Protonendonatoren genannt.

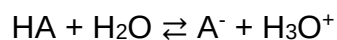


Basen hingegen sind Teilchen, die Protonen/ H^+ -Ionen aufnehmen können und werden Protonenakzeptoren genannt.



Säure-Base-Reaktionen sind also ein Paradebeispiel für das Donator-Akzeptor-Konzept.

In der Reaktion mit Wassermolekülen (H_2O) werden Oxoniumionen (H_3O^+) gebildet.



Säuren und Basen sind immer aufeinander bezogen, denn wenn ein Teilchen Protonen abgibt, muss es auch immer ein Teilchen geben, welches diese aufnimmt. Sonst würde es sich nicht um eine Übertragung, sondern um eine Spaltung (vgl. Arrhenius) handeln. In dieser Weise verbundene Teilchen werden als konjugierte Säure-Base-Paare bezeichnet. Nach Brønsted wird keine Dissoziation, also die Spaltung in Ionen, beschrieben, sondern es werden Protonen übertragen und dadurch Ionen gebildet. Für diesen Vorgang verwendet er den Begriff Protolyse.

Nach dem Donator-Akzeptor-Konzept ist die Übertragung von der Reaktion mit Wassermolekülen unabhängig. Es werden also Protonen übertragen und ein Teilchen, das als Säure agiert hat, kann in der Rückreaktion als Base reagieren und ein Teilchen, das als Base agiert, wird postwendend befähigt, als Säure zu reagieren.

In der folgenden Abbildung werden die konjugierten Säure-Base-Paare durch Balken gekennzeichnet und die jeweiligen Teilchen, die als Säure (orange) und als Base (blau) agieren, farblich gekennzeichnet.

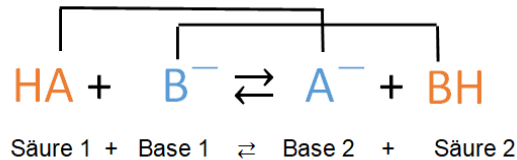


Abbildung 1: konjugiertes Säure-Base-Paar, allgemein

Säure 1 wird durch Abgabe eines Protons zu seiner konjugierten Base 2, kann nun also in der Rückreaktion als Base ein Proton aufnehmen. Base 1 hingegen wird durch Aufnahme des abgegebenen Protons von Säure 1 zur konjugierten Säure 2 und kann in der Rückreaktion ein Proton abgeben und als Säure reagieren.

Deutlicher gezeigt am Beispiel der Reaktion von Chlorwasserstoffgas mit Wasser. Dabei übertragen Chlorwasserstoffmoleküle ihr Proton an Wassermoleküle und es bilden sich durch Abgabe bzw. Aufnahme eines Protons Chlorid- und Oxoniumionen aus. Chlorwasserstoffmoleküle und Oxoniumionen können in dieser Gleichgewichtsreaktion als Säuren und Wassermoleküle und Chloridionen als Basen agieren.

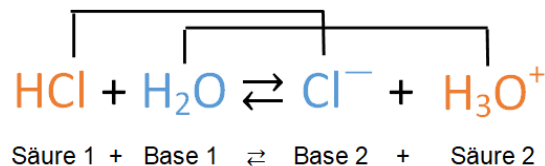
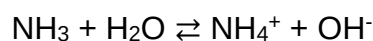


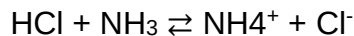
Abbildung 2: konjugiertes Säure-Base-Paar, Beispiel

Ein weiterer Vorteil ist auch die Anwendbarkeit dieses Modells bei der Beschreibung der Säure-Base-Reaktionen von Teilchen ohne Hydroxygruppe. Das Modell nach Arrhenius konnte die basischen Eigenschaften von Ammoniak (NH_3) zum Beispiel nicht erklären, da aufgrund des Fehlens einer Hydroxygruppe (OH^-) in wässriger Lösung keine Hydroxidionen abgespalten werden können. Im Modell nach Brønsted gelten Ammoniakteilchen aber sehr wohl als Base, da die Hydroxidionen bei der Protonenübertragung mit Wassermolekülen gebildet werden.

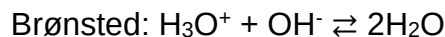
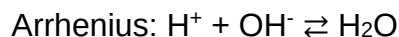


Das Modell nach Brønsted ist, wie schon erwähnt, nicht mehr von Wasser als Lösungsmittel abhängig, sondern lässt sich auch bei der Beschreibung von Reaktionen in der Gasphase anwenden, denn auch hier kann eine Protonenübertragung stattfinden.

Bringt man beispielsweise die beiden Gase Chlorwasserstoff ($\text{HCl}_{(\text{g})}$) und Ammoniak ($\text{NH}_{3(\text{g})}$) zur Reaktion werden die Chlorwasserstoff- und Ammoniakmoleküle durch die Übertragung von Protonen zu Ionen reagieren. Da diese nicht von Wassermolekülen solvatisiert sind, können sie ein Kristallgitter ausbilden, also eine Ionenbindung eingehen und man kann die Bildung von festem Ammoniumchlorid ($\text{NH}_4^+ / \text{Cl}^-$) beobachten.



Bei dieser gezeigten Reaktion reagieren zwar eine Säure und eine Base miteinander, es handelt sich aber nicht um eine Neutralisationsreaktion, denn diese findet nur in wässriger Lösung zwischen Protonen und Hydroxidionen zu Wassermolekülen statt. Ein weiterer kleiner Unterschied bei der Neutralisationsreaktion zwischen den Modellen nach Arrhenius und Brønsted ist, dass bei Brønsted keine Protonen dissoziieren, sondern Oxoniumionen in der Protonenübertragungsreaktion mit Wassermolekülen gebildet werden. Der entscheidende Schritt ist immer noch die Bildung von Wasser, man müsste jedoch der Genauigkeit halber von Oxoniumionen anstelle von Protonen sprechen.



Das Modell nach Brønsted hat aber auch den Nachteil, dass die Säureteilchen ein Wasserstoffatom gebunden haben müssen, um dieses übertragen zu können. Diese Limitierung besteht nach dem Modell nach Lewis nicht.

1.1.4. Das Modell nach Lewis

Gilbert Newton Lewis, ein US-amerikanischer Physikochemiker, publizierte fast zeitgleich mit Brønsted 1923 sein Modell, in dem er nicht mehr von der Dissoziation in Ionen (siehe Arrhenius), sondern von der Übertragung von Elektronenpaaren spricht. Damit geht er, wie Brønsted, weg von der Stoffebene und hin zur Teilchenebene. Der Hauptunterschied zu Brønsted besteht in der Übertragung von Elektronenpaaren statt der Übertragung von Protonen. Das Modell nach Lewis ist damit gleichsam ein Musterbeispiel für das Donator-Akzeptor-Konzept.

Teilchen, die nach Brønsted Säuren bzw. Basen sind, sind dies auch nach Lewis. Denn nach ihm sind Säuren Teilchen, die Elektronenpaare aufnehmen können und werden Elektronenpaarakzeptoren genannt. Basen sind analog dazu Teilchen, die Elektronenpaare abgeben können und werden Elektronenpaardonatoren genannt. Genau diese Elektronenpaarübertragung findet auch bei Protonenübertragungen statt. Als Beispiel kann hier die Reaktion von Chlorwasserstoff mit Wasser dienen. Das Chlorwasserstoffmolekül reagiert als Protonendonator (Brønsted) bzw. als Elektronenpaarakzeptor (Lewis). Das Wassermolekül reagiert als Protonenakzeptor (Brønsted) bzw. Elektronenpaardonator (Lewis). Die übertragenen Elektronenpaare sind farbig (orange) hervorgehoben.

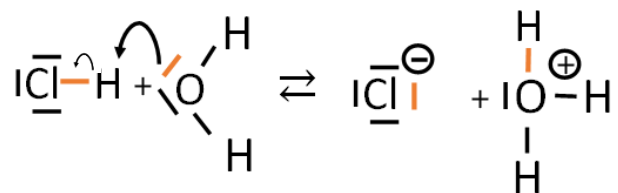


Abbildung 3: Lewis - Elektronenpaarübertragung, Beispiel 1

Man sieht also, dass die Protonenübertragung nach Brønsted unter die allgemeinere Formulierung nach Lewis subsumiert werden kann.

Durch diese Akzentsetzung auf Elektronenpaarübertragungen kann jedoch dieses Modell auch noch auf andere Teilchen als bei Brønsted angewandt werden, da man bei Säureteilchen nicht mehr auf Verbindungen mit Wasserstoffatomen und damit auf die Protonen beschränkt ist. Es besteht ebenfalls keine Limitierung auf wässrige Systeme. Diese beiden Tatsachen werden mit der nächsten Reaktion dargestellt, denn hier reagieren die beiden Gase Ammoniak (NH_3) und Bortrifluorid (BF_3) miteinander. Bortrifluorid hat ein unvollständiges Elektronenoktett und Ammoniak hat ein freies Elektronenpaar, welches wiederum farblich gekennzeichnet wurde. Bortrifluorid wäre nach Brønsted und Arrhenius keine Säure, da es kein Wasserstoffatom gebunden hat.

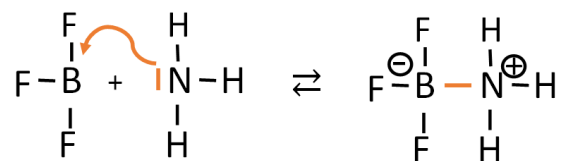


Abbildung 4: Lewis - Elektronenpaarübertragung, Beispiel 2

Durch das Vorhandensein eines freien Atom- oder Molekülorbitals bei Lewissäuren und eines freien Elektronenpaars bei Lewisbasen sind die Voraussetzungen für die Ausbildung kovalenter Bindungen gegeben.

1.2. Fachdidaktische Perspektive

Dieser Abschnitt wurde von Frau Menard erarbeitet.

Zuerst wird in diesem Abschnitt das Johnstone Dreieck diskutiert. Johnstone (2000) unterscheidet im Chemieunterricht zwischen drei Ebenen des Denkens: der Phänomenebene, der Teilchenebene und der Repräsentationsebene. Neben dem „Wechsel [zwischen diesen drei Ebenen], der das Lernen von Chemie so einzigartig, aber auch schwierig macht“ (Eilks, Bäumer & Byers, 2010, S. 127), stehen die Lehrpersonen zudem vor der Herausforderung, die in den Unterricht mitgebrachten Präkonzepte und die im Unterricht entstandenen Fehlkonzepte bei ihren Schülerinnen und Schülern zu diagnostizieren, zu reflektieren und weiterzuentwickeln. Denn Lernende verfügen über eine Bandbreite verschiedener Vorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“, die aus eigenen Beobachtungen und Rückschlüssen entstanden. Die fachdidaktische Literatur über Lernendenvorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“ wird deshalb anschließend in diesem Abschnitt aufgearbeitet. Dieser schließt mit einer Diskussion der Lehrendenvorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“, da es für Lehrende auch wichtig ist, ihre eigenen Vorstellungen zu kennen, denn erst dann können sie chemische Inhalte fachlich angemessen unterrichten und besser nachvollziehen, wie ihre Schülerinnen und Schüler denken.

1.2.1. Warum Lernen und Lehren eine Herausforderung darstellt

Dieser Abschnitt wurde von Frau Menard erarbeitet.

„We have [...] three levels of thought: the macro and tangible, the sub micro atomic and molecular, and the representational use of symbols and mathematics.“ (Johnstone, 2000, S. 9). Johnstone (2000, S. 11) geht davon aus, dass die „Natur der Chemie“ in drei unterschiedlichen Ebenen, der Phänomenebene (makroskopische Ebene), der Teilchenebene (submikroskopische Ebene) und der Repräsentationsebene (symbolische Ebene) existiert (deutsche Übersetzungen der Ebenen nach Lembens & Becker, 2017, S. 15). Die drei Ebenen entsprechen den Ecken eines Dreiecks (siehe Abbildung 1) und ergänzen sich gegenseitig.

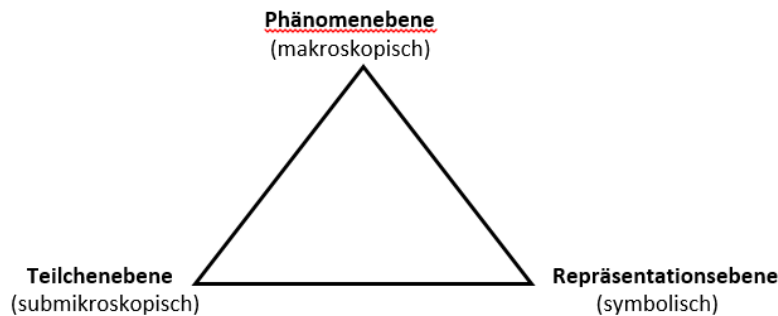


Abbildung 5: Das Johnstone Dreieck (in Anlehnung an Lembens & Becker, 2017)

Die Phänomenebene umfasst alles, was man sehen, fühlen und riechen kann. Auf der Teilchenebene begegnet man den Ursachen für die beobachtbaren Phänomene. Sie umfasst Atome, Ionen, Moleküle, Strukturen und Kräfte, die erst mit Hilfe der Repräsentationsebene kommuniziert und vermittelt werden können. In der Repräsentationsebene werden die unterschiedlichen Darstellungsarten durch Symbole, Formeln, Reaktionsgleichungen und Graphiken zusammengefasst (Johnstone, 2000, S. 11).

Barke (2006, S. 31) veranschaulicht am Beispiel einer Neutralisationsreaktion, dass die Ausbildung von nicht angemessenen Vorstellungen vermieden werden kann, wenn im Unterricht das Johnstone Dreieck berücksichtigt wird. Zunächst werden nach erfolgtem Versuch die Beobachtungen auf der Phänomenebene beschrieben und die Reaktionsgleichung wird mit Worten angegeben: Salzsäure (aq) + Natronlauge (aq) →

Natriumchlorid (aq) + Wasser. Anschließend kann auf Fragen, bezogen auf die an der Reaktion beteiligten Teilchen, eingegangen werden. Auf der Teilchenebene werden die nicht sichtbaren Teilchen und Vorgänge durch Modelle sowie Symbole begreifbar gemacht. Die Modellvorstellungen sollen plastisch mit Hilfe eines Molekülbaukastens oder durch Modellzeichnungen, wie Becherglasmodelle, veranschaulicht werden. Erst nach Klärung der Wassermolekül-Bildung durch das Reagieren der Protonen mit den Hydroxidionen kann die Reaktionsgleichung auf der Repräsentationsebene mittels Symbolen und Formeln angegeben werden.

Bei der oben vorgeschlagenen Reihenfolge (Phänomenebene → Teilchenebene → Repräsentationsebene) können beim Unterrichten Herausforderungen auftreten. Auf der Phänomenebene wird beim Mischen von Salzsäure mit Natronlauge, die beide klare Flüssigkeiten sind, als Produkt wieder nur eine klare Flüssigkeit wahrgenommen. Durch die Zugabe eines Indikators wie Bromthymolblau ist ein Farbwechsel bei der Neutralisationsreaktion beobachtbar und es kann somit auf die Veränderung des pH-Wertes hingewiesen werden. Wenn die Neutralisationsreaktion nur wie üblich mittels $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ ausgedrückt wird, haben die Lernenden keine Möglichkeit, „eine Modellvorstellung zu entwickeln, die von den Ionen als kleinsten Teilchen bei der Reaktion ausgeht“ (Barke, 2006, S. 30). Ionen als kleinste Teilchen sind unentbehrlich, wenn Salze, Salzlösungen und saure sowie basische Lösungen beschrieben werden sollen, denn erst bei einer konsequenten Arbeit mit Ionen als kleinste Teilchen können Lernende auf der Teilchenebene angemessene Vorstellungen entwickeln. Das bedeutet, dass ein Unterricht, der nur auf der Repräsentationsebene geschieht, dazu führt, dass Lernende die Schreibweise mit dem Molekülsymbol NaCl mit der Salzbildung von Natriumchlorid verbinden. Durch das zuvor erwähnte Becherglasmodell (siehe Abbildung 2) wird einerseits die Reaktion der Protonen mit den Hydroxid-Ionen zu Wassermolekülen verdeutlicht und andererseits, dass die Natrium-Ionen und Chlorid-Ionen als Ionen erhalten bleiben und nicht an der Neutralisation beteiligt sind. Zudem wird durch das Modell erkennbar, dass sich die Gesamtzahl der in Lösung befindlichen Ionen nicht verändert. Um die Darstellung übersichtlicher zu gestalten, werden statt der Wassermoleküle (aq)-Symbole verwendet, die auf die Hydrathüllen der Ionen hinweisen und somit ist klar erkennbar, dass sich kein festes Salz aus den Natrium- und Chlorid-

Ionen gebildet hat. Das Arbeiten mit Becherglasmodellen bietet zudem den Vorteil, dass die Lernenden die Darstellung der Neutralisationsreaktion, indem sie Ionen und Moleküle kombinieren, selbstständig notieren. Dadurch sollen die Lernenden erfahren, dass eine Reaktionsgleichung für eine Verkürzung oder Vereinfachung eines komplexen Sachverhaltes steht. Damit wird stures Auswendiglernen der Reaktionsgleichung hinfällig (Barke, Harsch, Krüger & Marohn, 2018, S.258; Dörfler und Barke, 2009, S. 142, 144).

Die Reaktionsgleichungen werden folgendermaßen angeschrieben (Dörfler und Barke, 2009, S. 144):

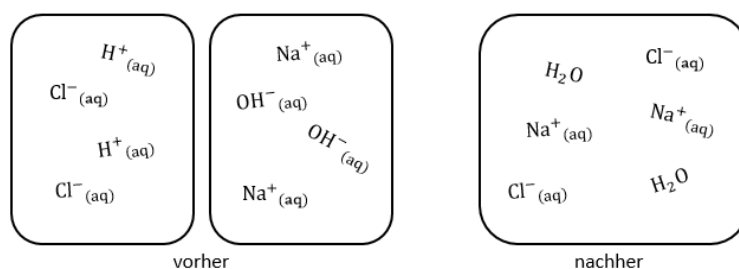
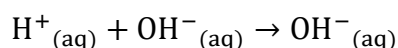
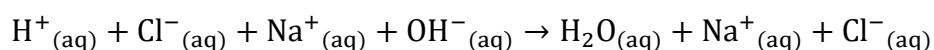


Abbildung 6: Becherglasmodell: Neutralisation von Salzsäure und Natronlauge (in Anlehnung an Dörfler & Barke 2009, S.144)

Die Phänomenebene ist im Alltag, im Labor und im Chemieunterricht am präsentesten, da diese Ebene jene Aspekte widerspiegelt, die man in der Welt begegnet und gewöhnt ist, wie beispielsweise eine beobachtete Farbänderung bei einer Titration. Um die Ursachen der wahrgenommenen Phänomene erklären zu können, muss neben den sichtbaren, gefühlten und gerochenen Phänomenen ebenso die Teilchenebene, die durch die Repräsentationsebene ausgedrückt wird, miteinbezogen werden. Die Schülerinnen und Schüler können einen Lernerfolg verbuchen, wenn der Unterricht klar strukturiert gestaltet wird und auch gut nachvollziehbar ist, auf welcher der drei Ebenen der Unterricht gerade stattfindet. Wird im Unterricht versucht, auf allen drei Ebenen gleichzeitig zu unterrichten, könnten Lernende kognitiv überfordert sein. Dies

führt zu Schwierigkeiten beim Verstehen und kann in weiterer Folge Lernende zum Auswendiglernen verleiten. Lehrende müssen Lernende dabei anleiten, den Wechsel zwischen der Phänomenebene, der Teilchenebene und der Repräsentationsebene erfolgreich zu meistern, denn erst erfahrene Chemikerinnen und Chemiker können auf allen drei Ebenen gleichzeitig sicher operieren (Barke & Büchter, 2018, S. 13; Johnstone, 2000, S. 11).

Lehrerinnen und Lehrer müssen sich der drei Ebenen nach Johnstone bewusst sein und vor allem ihren Zusammenhang verstehen, damit sie diesen an ihre Schülerinnen und Schüler weitergeben können. Nicht immer besteht jedoch die Notwendigkeit, die drei Ebenen im Unterricht zu verknüpfen. Die Existenz der drei Ebenen ist kein Hindernis für das Verstehen der Komplexität im Chemieunterricht, sondern die Tatsache, dass der Chemieunterricht hauptsächlich auf der Repräsentationsebene geschieht und der weitere Unterricht ohne Anwendungen von Modellen nicht erklärbar ist (Gabel, 1999, S. 548-549; Johnstone, 1991, S. 78).

Je fortgeschrittener der Chemieunterricht ist, desto wichtiger wird „die abstrakte symbolhafte Repräsentation [...] auf der submikroskopischen Ebene [d.h. Teilchenebene]“ (Johannsmeyer, 2004, S. 14). Da die Teilchenebene nicht direkt beobachtbar ist, muss diese mit Hilfe von Modellen beschrieben werden. Beim Schema von Steinbuch (siehe Abbildung 3) (vgl. Barke et al., 2018, S. 242) wird zwischen einem „Denkmodell“, der theoretischen Modellvorstellung, und einem „Anschauungsmodell“, der Realisierung der Modellvorstellung durch materielle, ikonische oder symbolische Modelle, unterschieden (Reiners, 2017, S. 50). Im Gegensatz zu Lernenden können sich erfahrene Lehrende der Chemie zunächst mit Hilfe dieses genannten Schemas ein „Denkmodell“ erarbeiten, welches zur Veranschaulichung in ein „Anschauungsmodell“ überführt werden kann. Lernende beschäftigen sich mit den gegebenen „Anschauungsmodellen“ und durch weitere fachliche Informationen können diese mit ihren „Denkmodellen“ verstärkt oder abgeschwächt werden. Dabei wird akzeptiert, dass unerhebliche Fakten nicht sofort aussortiert und erst mit der Zeit entsprechende Vorstellungen generiert werden (Barke et al., 2018, S. 253).

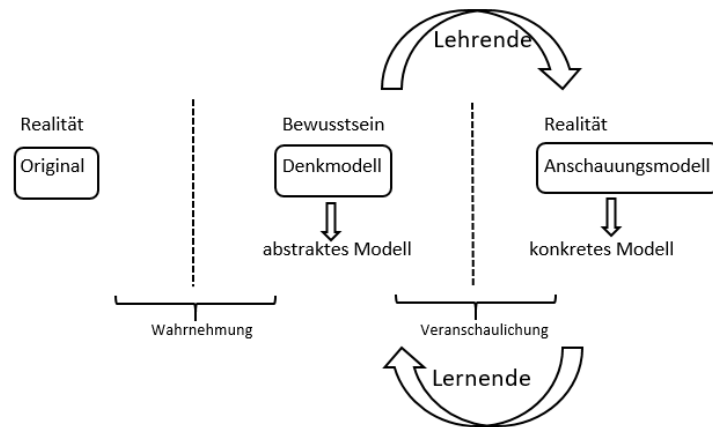


Abbildung 7: Schema nach Steinbuch (in Anlehnung an Barke et al., 2018, S.242)

Sowohl das „Original“ nach Steinbuch, wie auch die Phänomenebene nach Johnstone, können durch Sehen, Fühlen und Riechen wahrgenommen werden. Allerdings wird das nur im Bewusstsein vorhandene „Denkmodell“ im Johnstone Dreieck nicht explizit erwähnt. Das „Anschauungsmodell“ wird durch das Johnstone Dreieck nochmals in die Teilchen- und in die Repräsentationsebene gegliedert (siehe Abbildung 4), um damit auf die unterschiedlichen Eigenschaften dieser beiden Ebenen zu verweisen (Johannsmeyer, 2004, S. 15).

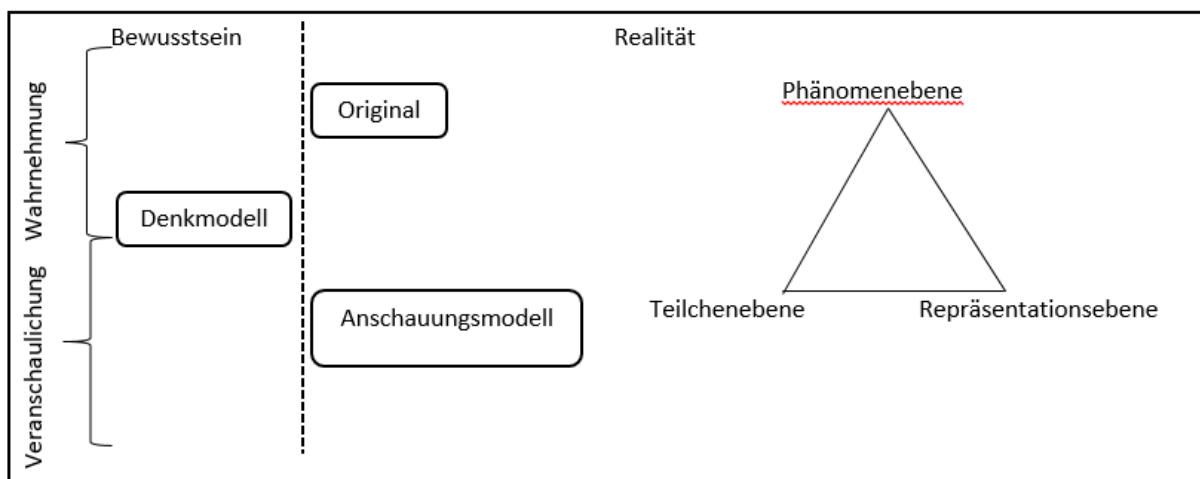


Abbildung 8: Schema nach Steinbuch unter Einbeziehung des Johnstone Dreiecks (in Anlehnung an Johannsmeyer, 2004, S.15).

1.2.2. Lernendenvorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“

Dieser Abschnitt wurde von Frau Menard erarbeitet.

Für Lehrende sind die Lernendenvorstellungen relevant, um nicht fachlich angemessene Vorstellungen im Unterricht zu erkennen und durch Konzepterweiterung auf eine Anpassung an angemessene naturwissenschaftliche Vorstellungen hinzuwirken (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982). Studien (Demircioğlu, Ayas & Demircioğlu, 2005; Hoe & Subramaniam, 2016; Kind, 2004) zeigen, dass Lernende eine Bandbreite an nicht angemessenen Vorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“ besitzen. In der fachdidaktischen Literatur wird bezüglich Lernendenvorstellungen im Unterricht zwischen „Präkonzept“ und „Fehlvorstellung“ unterschieden (Barke, 2006; Driver, Guesne & Tiberghien, 1985; Duit, 1995).

Präkonzepte von Lernenden können mit den historischen Vorstellungen früherer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verglichen werden, welche meist aus Beobachtungen und Nachdenken resultieren. Sie sind häufig im naturwissenschaftlichen Anfängerunterricht zu finden, können nicht verhindert werden und entstehen in erster Linie durch Sprache und Erfahrungen. Lernende setzen sich mit den Phänomenen ihres Alltags auseinander, besprechen ihre Ansichten mit ihren Mitmenschen und entnehmen Informationen aus den Medien. Ihre Schlussfolgerungen nehmen sie in den Unterricht mit, die dann in den Köpfen verankert sind und erhalten bleiben, auch wenn diese Vorstellungen nicht mit den Versuchsergebnissen oder Erklärungen der Lehrperson übereinstimmen. Da Präkonzepte ohne ein spezifisches Vorwissen der Lernenden durch eigene Beobachtungen und das Ziehen eigener Schlüsse entstehen, können sie nicht als falsch angesehen werden. Andere Bezeichnungen für Präkonzepte sind Alltagsvorstellungen, ursprüngliche, vorwissenschaftliche oder alternative Vorstellungen (Barke, 2006, S. 21-22; Driver et al., 1985, S. 2).

Fehlvorstellungen hingegen bilden sich infolge des Unterrichts aus und sind zumeist Produkte von Vermittlungs- oder Interpretationsfehlern. Sie können auch als hausgemachte, im Unterricht erworbene, unangemessene Vorstellungen bezeichnet werden. Fehlvorstellungen können von Lehrerinnen und Lehrern vermieden werden, indem

diese eine korrekte, klare und bewusste Sprache verwenden. Außerdem können nachvollziehbare Versuche und anschauliche Modelle im Unterricht benutzt werden. Grundlagen für hausgemachte Fehlvorstellungen können einerseits Traditionen beim Unterrichten sein, wobei Themengebiete nach dem Motto „das haben wir immer so gemacht“ unreflektiert und nicht nachvollziehbar unterrichtet werden. Andererseits kann die Komplexität eines Themas ein Anlass für Fehlvorstellungen sein, da es aufgrund mangelnder Zeit oft nicht möglich ist, Sachverhalte widerspruchsfrei und allgemein verständlich zu lehren (Barke, 2006, S. 21, 25-26). Dörfler und Barke (2009, S. 142-145) zeigten mit ihrer Pilotstudie, dass ein Unterricht mit korrekter Sprache, konsequentem Arbeiten auf der Teilchenebene und expliziter Auseinandersetzung mit bekannten Fehlvorstellungen aus der Literatur positive Auswirkungen auf die hausgemachten Fehlvorstellungen hat. Somit wird zum Beispiel vermieden, dass Lernende nach einem traditionellen Unterricht über die Neutralisation ausschließlich die gebräuchliche Reaktionsgleichung kommentarlos wiedergeben. Ein Vermittlungsfehler kann dadurch entstehen, wenn im Unterricht nicht deutlich auf die verschiedenen Begriffe eingegangen wird. Zum Beispiel muss beim Thema „Säuren und Basen“ klar zwischen den Begriffen Säure und saure Lösung bzw. Base und basische Lösung unterschieden werden. Weiters können sich Schwierigkeiten bezüglich des Verstehens ergeben, wenn dem Teilchen Eigenschaften der Phänomenebene zugewiesen werden, wie Schwefelatome sind gelb, da das Schwefelpulver gelblich erscheint (Duit, 1995, S. 14).

Neben einem Wissen über Präkonzepte und Fehlvorstellungen sind für den Lernprozess auch das Aufgreifen und Berücksichtigen von Lernendenvorstellungen im Chemieunterricht von hoher Bedeutung (Rehm, Ropohl, Steffensky & Parchmann, 2017, S. 9). Dies muss vor allem im Anfängerunterricht passieren, da sich die Ausbildung von Vorstellungen, wie naturwissenschaftliche Phänomene im Alltag entstehen, schon im Kindesalter durch Beobachtungen der Umwelt ausbildete (Hank, 2018, S. 217). Aus Beobachtungen im Alltag leiten Lernende Vorstellungen über naturwissenschaftliche Phänomene ab, die sie in den Chemieunterricht mitbringen. Diese stimmen nicht immer mit den Vorstellungen der Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler überein. Dadurch können Lernschwierigkeiten entstehen (Feige, Rutsch, Dörfler & Rehm, 2017, S. 2; Petermann, Friedrich & Oetken, 2008, S. 110). Nach Piaget denken

Lernende insbesondere in den ersten Semestern des Chemieunterrichts in konkreten Denkopoperationen. Dies bedeutet, dass sie naturwissenschaftliche Phänomene „konkret-bildhaft und in magisch-animistischer Sprechweise“ schildern, zum Beispiel „Säuren fressen Metalle“ (Barke et al., 2018, S. 19).

Bestehende Vorstellungen können durch Erlernen von anderen oder erweiterten Konzepten ergänzt, modifiziert und komplettiert werden. In der konstruktivistischen Lerntheorie wird davon ausgegangen, dass das Lernen nicht einfach eine Weitergabe von Wissen ist, sondern dass dabei ein aktiver Prozess des Konstruierens von Wissen durch Lernende abläuft. Bereits vorhandene Vorstellungen können nicht einfach durch andere Konzepte ersetzt oder vollständig entfernt werden, sondern es bedarf einer Konzepterweiterung (conceptual growth / revision) (Feige et al., 2017, S. 6; Lembens, 2017, S. 28). Posner et al. (1982, S. 212) unterscheiden zwischen zwei Arten der konzeptuellen Erweiterung: Assimilation und Akkommodation. Bei der Assimilation passen Lernende ihre bestehenden Konzepte an und ergänzen diese, um neue Phänomene zu erklären. Die Akkommodation ist eine radikalere Form, da Lernende ihre bestehenden Konzepte austauschen oder umstrukturieren müssen. Ziel dieser Konzepterweiterung ist es, Schülerinnen und Schüler dorthin zu führen, ihre vorhandenen Vorstellungen in Frage zu stellen und die von der Lehrperson dargebotenen naturwissenschaftlichen Konzepte zu erfassen, anzuerkennen und in ihre eigenen Konzepte zu integrieren. Es kann auch hilfreich sein, bei Lernenden ein Gefühl der Unzufriedenheit mit ihren gegenwärtigen Vorstellungen auszulösen. Posner et al. (1982, S. 214) erwähnt vier notwendige Bedingungen für eine Akkommodation:

- *There must be dissatisfaction with existing conceptions.*
- *A new conception must be intelligible.*
- *A new conception must appear initially plausible.*
- *A new concept should suggest the possibility of a fruitful research program.*

Bei der Akkommodation müssen die neuen Konzepte erstens Unzufriedenheit mit vorherigen Konzepten hervorrufen, zweitens verständlich sein, drittens anfangs plausibel

sein und viertens die Möglichkeit eröffnen, neue Problemlösungsansätze anzuwenden. Konzepterweiterungen durch Lernende sind dann notwendig, wenn mit den Alltagsvorstellungen der Lernenden bestimmte naturwissenschaftliche Phänomene nicht angemessen beschrieben werden können (Petermann et al., 2008, S. 110-111).

Das Thema „Säuren und Basen“ wird in der Sekundarstufe I hauptsächlich mittels der Säure-Base-Definition nach Arrhenius und in der Sekundarstufe II mittels der Säure-Base-Definition nach Brønsted unterrichtet. Beispielsweise treffen Lernende häufig die nicht angemessene Aussage „Carbonat-Ionen reagieren mit Citronensäure“. Daraus wird offensichtlich, dass Lernende die Substanz- und die Teilchenebene konsequent vertauschen (Barke, 2015, S. 10). Zuerst gelernte Definitionen bleiben in den Köpfen der Lernende erhalten und sind meist robust gegenüber Veränderungen. Somit sehen Lernende keine Notwendigkeit einer Konzepterweiterung und vertauschen beim Erklären die Definitionen unbewusst (Lembens & Becker, 2017, S. 14). Bereits Hawkes (1992) merkt an, dass das Erlernen des Arrhenius-Konzepts Lernende beim späteren Erlernen des Brønsted-Konzepts verwirrt. Er legt dringend nahe, primär das Brønsted-Konzept zu unterrichten und das Arrhenius-Konzept mit untergeordneter Bedeutung, beispielsweise als „historische Fußnote“, im Unterricht nur nebenbei zu erwähnen (S. 542).

Studien der letzten Jahre weisen eine Bandbreite an unterschiedlichen Lernendenvorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“ hinsichtlich Eigenschaften von Säuren und Basen, Phänomen- und Teilchenebene, pH-Wert, Säure- und Basenstärke, Indikatoren sowie Neutralisationsreaktion auf.

Barke (2006, S. 189) betont, dass Schülerinnen und Schüler ausschließlich mit angelernten Säure-Base-Konzepten im Unterricht argumentieren, wobei aus deren Aussagen nicht ersichtlich ist, ob sie die Konzepte auch verstanden haben. Lernende geben häufig nur auf Säuren bezogene, beschreibende Erklärungen ab, wie „Säuren schmecken sauer“ (Carr, 1984, S. 97), „Säuren sind ätzend“ (Barke, 2006, S. 195; Hoe & Subramaniam, 2016, S. 273), „Säuren brennen“ (Demircioğlu et al., 2005, S. 46; Kind,

2004, S. 47), „Säuren fressen Material weg“ (Kind, 2004, S. 47; Carr, 1984, S. 97; Demircioğlu et al., 2005, S. 46) und „Säuren sind giftig“ (Demircioğlu et al., 2005, S. 46; Ross, 1989, S. 106).

Weitere nicht angemessene Vorstellungen sind Resultate aus der Vermischung zwischen der Phänomen- und Teilchenebene. Barke erwähnt hierfür das Beispiel „Wasser ist ein Ampholyt, es kann sowohl als Säure als auch als Base reagieren“ (2015, S. 11). Bei dieser Formulierung wird nicht ersichtlich, dass das Wassermolekül eigentlich den Ampholyten darstellt und dass es als Brønsted-Säure oder Brønsted-Base reagieren kann. Eine weitere Studie von Barke ergab, dass Lernende „nicht zwischen der reinen Säure, die aus Molekülen aufgebaut sind, und den verdünnten Säure-Lösungen, die weitgehend aus Ionen bestehen“ differenzieren (2006, S. 195).

Ein weiterer Aspekt bezüglich Lernendenvorstellungen ist, dass Lernende die Stärke einer Säure oder Base vielfach mit dem pH-Wert verbinden (Demircioğlu et al., 2005, S. 46; Ross, 1989, S. 106) und nicht erkennen, dass eigentlich der Protolysegrad der Parameter für die Säurestärke oder Basenstärke ist (Barke, 2015, S. 11; Lembens & Becker, 2017, S. 13). Auch der Glaube, dass jene Säure, die mehr Wasserstoffionen produziert, stärker sei, ist weit verbreitet (Hoe & Subramaniam, 2016, S. 273). Schülerinnen und Schüler können zwar die Definition des pH-Wertes angeben, aber es fehlt der Beleg für die Anwendung, da sie die Definition fehlerhaft zusammenfassen, indem sie wichtige Aussagen nicht erwähnen oder phänomenologische Antworten aus der Werbung wiederholen (Barke, 2006, S. 191). Bei Vorstellungen über pH-Wert und Indikatoren ordnen Lernende den unterschiedlichen pH-Werten unterschiedliche Farben zu. Indikatoren im sauren Bereich werden häufig mit der Farbe Rot in Verbindung gebracht und der basische Bereich wird mit der Farbe Blau assoziiert (Demircioğlu et al., 2005, S. 46, Sheppard, 2006, S. 36).

Auch bei der Neutralisationsreaktion treten Fehlvorstellungen bei Lernenden auf, da sie überwiegend die Bruttogleichung $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ dafür formulieren. Einige Schülerinnen und Schüler beschreiben auf der Teilchenebene korrekt, dass die

H^+ -Ionen mit den OH^- -Ionen reagieren und H_2O -Moleküle bilden. Allerdings assoziieren sie mit NaCl die Bildung des Salzes Natriumchlorid (Barke, 2006, S. 191).

1.2.3. Lehrendenvorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“

Dieser Abschnitt wurde von Frau Menard erarbeitet.

Die Vorstellungen der Lehrenden zum Thema „Säuren und Basen“ spielen eine entscheidende Rolle beim Prozess des Verstehens für ihre Schülerinnen und Schüler.

Bradley & Mosimege (1998, S. 137) zeigten, dass Lehramtskandidatinnen und Lehramtskandidaten ihre vorhandenen Fehlkonzepte auch nach Qualifikation zum Lehramt mitnehmen und diese Fehlkonzepte wiederum in ihrer Unterrichtstätigkeit fortlaufend an ihre Schülerinnen und Schüler weitergeben. Laut Bizzo (2002, S. 751) übernehmen Studierende auch jene Fehlkonzepte, die Lehrende unterrichten oder jene nicht angemessenen Darstellungen, die in den Lehrbüchern stehen. Eine Betrachtung der Lernendenvorstellungen zu Säure-Base-Konzepten wäre daher ohne gleichzeitiges Augenmerk auf die bei Lehrenden vorhandenen Vorstellungen nicht vollständig. Um Säure-Base-Konzepte adäquat lehren zu können, müssen Lehrpersonen einerseits über ihre eigenen Vorstellungen Bescheid wissen, um sie zu reflektieren und zu erweitern, und andererseits die Vorstellungen ihrer Schülerinnen und Schüler erkennen.

Die Rolle der Lehrenden ist bedeutsam für den Prozess des Verstehens ihrer Lernenden. Erkenntnisse über die Art und Weise wie Lehrende das Thema „Säuren und Basen“ unterrichten und die Gründe für die Wahl ihrer Unterrichtsstrategien sind deshalb entscheidend (Drechsler & Van Driel, 2009, S. 86). Auch Lehrende können Fehlvorstellungen zum Thema „Säuren und Basen“ besitzen, die einen negativen Einfluss auf ihren Unterricht ausüben, sodass Lernende Gefahr laufen, diese ebenso zu übernehmen. Es ist daher wichtig, Lehrende dabei zu unterstützen, eventuell vorhandene eigene Fehlvorstellungen zu identifizieren, damit sie sich dieser bewusst werden, um als Konsequenz ihrer Weitergabe an Lernende im Unterricht zu vermeiden (De Jong, Veal & Van Driel, 2002, S. 369; Tan, Mocerino, Treagust & Chandrasegaran, 2012, S. 38).

Ein Faktor für die Weitergabe von Fehlkonzepten von Lehrenden an Lernende besteht darin, dass das Wissen über verschiedene Säure-Base-Modelle, vor allem über das Arrhenius- und Brønsted-Modell, unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Außerdem vermischen einige Lehrende die Begrifflichkeiten der Arrhenius- und Brønsted-Theorie, da unter anderem beim Arrhenius-Konzept anstelle einer Dissoziation von Protonenübergängen gesprochen wird und beim Brønsted-Konzept hingegen fälschlicherweise von der Dissoziation statt von der Protolyse (Barke, 2015, S. 11). Zu Karrierebeginn orientieren sich Lehrpersonen auf Grund ihrer Unsicherheiten über die Unterrichtsstrategien zu Säuren und Basen stark am Schulbuch, das einerseits die Komplexität des Themas reduziert und andererseits den Unterricht mit bestimmten Aufgaben strukturiert und so übersichtlicher gestaltet (Drechsler & Van Driel, 2008, S. 624; Oelkers, 2004). Besitzen sie aber ein ausgeprägtes Wissen über die verschiedenen Modelle und deren Grenzen, entwickeln sie ihre eigenen Unterrichtsstrategien und es eröffnet sich für sie die Option, nicht mehr streng dem Schulbuch zu folgen. In Interviews mit Lehrenden stellten Drechsler und Van Driel (2009, S. 92-93) fest, dass Lehrende teilweise ihr Wissen zu Säuren und Basen aus dem Studium vergessen, jedoch das Brønsted-Modell in den Schulbüchern wiedererkennen. Hingegen wurde das Lewis Model komplett vergessen, da es in der Sekundarstufe II nicht unterrichtet wird, und ebenso wird von den Lehrenden nicht erkannt, dass die verschiedenen Säure-Base-Modelle, wie das Arrhenius- Modell und Brønsted-Modell, nicht dieselben Eigenschaften aufweisen.

Zudem thematisieren Schulbücher weder den Unterschied des Brønsted Modells zu anderen Säure-Base Modellen, noch wird erläutert, warum das Brønsted Modell eingeführt wird (Drechsler & Schmid 2005, S. 32). In den Schulbüchern erfolgt keine Erklärung, warum in der Wissenschaft verschiedene Modelle Relevanz besitzen und Verwendung finden (Drechsler & Schmid 2005, S. 21). Hinzu kommt, dass es für Lernende wichtig ist, dass Lehrende dem im Unterricht verwendeten Schulbuch folgen, um Lernende nicht zu verwirren (Drechsler & Van Driel, 2009, S. 94). Auch ist es Lehrenden oft nicht klar, dass das Schulbuch nicht deutlich zwischen dem Brønsted Modell und anderen Modellen unterscheidet (Drechsler & Schmid 2005, S. 32). Lehrende lassen

deshalb beim Unterricht des Brønsted Modells keine Unterscheidung zu älteren Modellen in den Unterricht einfließen (Drechsler & Van Driel, 2009, S. 92-93).

Laut einer Studie von Drechsler und Van Driel sehen Lehrende nicht die Unterschiede zwischen den verschiedenen Säure-Base-Modellen, beispielsweise, dass jedes Modell andere Eigenschaften und Fokusse besitzt (2009, S. 93). Im Gegensatz dazu stehen neuere Modelle für sie als Weiterentwicklung und Detaillierung früherer Modelle. Manchmal wenden Lehrende auch nicht spezifische Modelle an, sondern übertragen Eigenschaften auf andere Modelle und unterrichten Mischformen, welche in Folge schwierig zu verstehen sind (Drechsler & Van Driel, 2009, S. 87, 93). Wenn Lehrende ein ausgebildetes Verstehen für die Eigenschaften und Unterschiede verschiedener Modelle haben, glauben sie, dass der Unterricht mehrerer Säure-Base Modelle für die meisten ihrer Schülerinnen und Schüler zu schwierig und kompliziert sei. Somit entscheiden Lehrende nur ein Modell zu unterrichten, oder überhaupt auf die Einführung eines Modells zu verzichten und ausschließlich auf die Phänomen- und Teilchenebene einzugehen (Drechsler & Van Driel, 2009, S. 93). Obwohl in einer anderen Studie von Drechsler und Van Driel Lehrende manche Fehlvorstellungen ihrer Schülerinnen und Schüler zu Säure und Base auf eine Verwechslung zwischen Modellen zurückführten, schlossen nur wenige daraus, die unterschiedlichen Modelle im Unterricht stärker zu betonen, sondern dachten, dass es ausreichend wäre, sich nur auf die Unterscheidung zwischen Phänomen- und Teilchenebene zu konzentrieren (2008, S. 611).

Daher benötigen Lehrende ein grundsätzliches Verstehen über Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In einer Studie unter 15 Lehrenden in Chemie, Biologie und Physik fanden Van Driel und Verloop heraus, dass alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer eine ähnliche Konzeption des Modellbegriffs reproduzieren konnten. Modelle wurden von den Lehrenden als „vereinfachte oder schematische Darstellung der Realität“ beschrieben (1999, S. 1146). Modelle sind dienlich, um Phänomene im Unterricht zu erklären, Vorhersagen über den Ablauf chemischer Reaktionen zu treffen und diese mit Schülerinnen und Schülern zu diskutieren (Chen, Benus & Yarker, 2016,

S. 549). Oftmals präsentieren Lehrende ein Modell jedoch als „unveränderliches Faktum“. Lernende werden nicht dazu aufgefordert, Modelle zu hinterfragen und diese aktiv zu konstruieren (Van Driel & Verloop, 1999, S. 1141).

Neben einem Wissen über Definitionen von Modellen müssen die Vorstellungen der Lehrenden zu Säuren und Basen so ausgeprägt sein, dass sie auch nicht angemessene Vorstellungen der Lernenden erkennen können. Lehrende müssen Fähigkeiten entwickeln, Schülerinnenvorstellungen und Schülervorstellungen zu bemerken und Unterrichtstechniken einzusetzen, um Fehlvorstellungen von Lernenden möglichst zu verhindern (Cetin, Kaya & Geban, 2005). Außerdem ist es für Lehrerinnen und Lehrer wichtig zu verstehen, wie ihre Schülerinnen und Schüler die unterrichteten Konzepte auffassen. In einer Befragung von Lehrenden zu ihren Einstellungen und Erwartungen hinsichtlich der Probleme ihrer Lernenden mit Säure-Base-Konzepten, glaubten Lehrerinnen und Lehrer, dass ihre Schülerinnen und Schüler nur Schwierigkeiten mit pH-Wert und Puffer hätten. Die Lehrpersonen erwarteten aber nicht, dass die Problematik für die Schülerinnen und Schüler direkt im Verstehen der Säure-Base-Modelle liegen könnte (Drechsler & Schmidt, 2005, S. 28-29).

1.2.3.1. Bedeutung von Schulbüchern

Alle weiteren Abschnitte wurden von Herrn Engelmann erarbeitet.

Schulbücher werden nicht ohne Grund als „*Rückgrat des Unterrichts*“ (Oelkers, 2010, S.18) bezeichnet, denn die diversen Schulbücher werden sowohl von Lernenden in der Schule und auch zuhause verwendet, um das in der Schule Gelernte zu verinnerlichen. Aber nicht nur die Lernenden, sondern auch Lehrende nutzen Schulbücher für ihre Unterrichtsplanung, -vorbereitung und -durchführung. Schulbücher haben also einen zentralen Anteil am Unterrichtsgeschehen und Lernerfolg. Daher müssen sich die Lehrkräfte bei der Verwendung dieser, auf die fachliche Korrektheit und fachdidaktische Angemessenheit verlassen können (vgl. Lembens et al., 2019).

Hammerschmid hat im Zuge ihrer Diplomarbeit (2019) zwölf Schulbücher in Hinblick auf die enthaltenen Kapitel zum Thema ‚Säuren und Basen‘, welche in der Sekundarstufe I eingesetzt werden und über die Schulbuchaktion 2018/19 erhältlich waren, analysiert. Dabei fand sie heraus, dass nur eines dieser zwölf Schulbücher konzeptuell kohärent mit Brønsted argumentiert, zehn davon sich stark auf Definitionen nach Arrhenius beziehen und eines sogar überhaupt keine Definition zum Thema ‚Säuren und Basen‘ angibt. Nur 50% der Schulbücher, die nach Arrhenius definieren, machen dies in konzeptuell kohärenter Art und die andere Hälfte beinhaltet entweder vermischte, uneindeutige, oder sogar fachlich unangemessene Konzepte und Darstellungen.

Es können demnach die aktuell in der Sekundarstufe I verwendeten Schulbücher zur Bildung von Fehlvorstellungen und Mischkonzepten beitragen.

1.2.3.2. Analyse zweier ausgewählter Websites

Als meist genutzte online Enzyklopädie der Welt, bietet natürlich auch Wikipedia eine umfangreiche Ausarbeitung der Säure-Base-Thematik an. Allein in der Kurzzusammenfassung finden sich schon mehrere angemessene, unangemessene und uneindeutige Aussagen.

„Säuren sind im engeren Sinne alle chemischen Verbindungen, die in der Lage sind, Protonen (H^+) an einen Reaktionspartner zu übertragen – sie können als Protonendonator fungieren. In wässriger Lösung ist der Reaktionspartner im Wesentlichen Wasser. Es bilden sich Oxonium-Ionen (H_3O^+) ...“ (Wikipedia, 2013). Bis hierhin handelt es sich um eine angemessene Kurzbeschreibung von Säuren.

„... Säuren reagieren mit sogenannten Basen unter Bildung von Wasser und Salzen.“ (ebd.)

hier handelt es sich um eine Lernendenvorstellung mit vielfältigen Ungenauigkeiten, denn kristallines Salz wird nur in sehr seltenen Fällen gebildet, da die Ionen meist in Lösung bleiben.

„... Eine Base ist somit das Gegenstück zu einer Säure und vermag diese zu neutralisieren.“ (ebd.)

In die Phrasierung „vermag diese zu neutralisieren“ kann impliziert werden, dass dies immer der Fall ist. Weiters wird im gesamten Artikel nicht näher spezifiziert, welche Bedingungen für einen neutralen pH-Wert gegeben sein müssen.

Weiters erfolgt im gesamten Artikel keine konsequente Trennung zwischen der Substanz- und der Teilchenebene.

„...Eigenschaft einer Säure, nämlich die Fähigkeit der Bildung von H_3O^+ -Ionen in Wasser“ (ebd.)

Jedoch werden in anderen Bereichen Versuche angestellt, unangemessene Vorstellungen zu verhindern. Es werden etliche Begrifflichkeiten, „Säure“, „saure Lösung“, „Base“, „basische Lösung“, „Salzsäure“... in angemessener Weise erklärt.

„Es gibt starke und schwache Säuren. Chlorwasserstoff ist eine starke Säure und dissoziiert in Wasser vollständig. Die wässrige Lösung nennt man Salzsäure.“ (ebd.)

„Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, dass Säuren immer Flüssigkeiten sind. Bekannte Vertreter von Säuren, die rein als Feststoff vorliegen, sind Vitamin C und Citronensäure, eine gasförmige Säure ist beispielsweise Chlorwasserstoff.“ (ebd.)

„Wässrige Lösungen von Säuren bewirken eine Farbveränderung von Indikatoren, zum Beispiel färben sie blaues Lackmuspapier rot.“ (ebd.)

Zusätzlich legt der Verfasser des Artikels keinen Wert darauf, zwischen den verschiedenen Modellen, Arrhenius, Brønsted und Lewis zu unterscheiden: *„Ohne näher auf verschiedene Säure-Base-Konzepte einzugehen“ (ebd.)*

In der Einleitung bezieht er sich aber eindeutig auf die Definition nach dem Brønsted-Modell. Säuren sind *„alle chemischen Verbindungen, die in der Lage sind, Protonen (H^+) an einen Reaktionspartner zu übertragen“ (ebd.)*

All diese Beispiele können Fehlvorstellungen verstärken und diese fördern weder einen reflektierten Sprachgebrauch noch eine Klarheit im Umgang mit der Säure-Base-Thematik. Für Lernende wird es schier unmöglich sein, in der Fülle der verschiedenen verwendeten Vorstellungen zwischen angemessenen und unangemessenen zu unterscheiden.

Diese Vermutung lässt sich auch durch die Analyse der nächsten Internetquelle bestätigen. Die US-amerikanische Internetseite „ChemgaPedia“, als Teil der Verlagsgruppe

John Wiley & Sons, Inc., wirbt seit 1996 als zuverlässige Informationsquelle für etliche naturwissenschaftliche Themengebiete und bietet unentgeltlich einen zwölfseitigen Onlinekurs zur Säure-Base-Thematik an. Dieser soll die grundlegenden Teilgebiete zu ‚Säuren und Basen‘ in 90 Minuten bearbeitbar machen. Neben einer Vielzahl an angemessenen Aussagen finden sich auch unangemessene, bzw. uneindeutige Aussagen, die zu Fehlvorstellungen führen können. Auch hier wird nicht konsequent zwischen den Ebenen differenziert. Folgend werden Beispiele für diese Behauptungen angeführt.

Am häufigsten und unter unterschiedlichsten Themengebieten finden sich immer wieder Aussagen zur Neutralisationsreaktion.

„In einer neutralen Lösung sind H_3O^+ und OH^- –Konzentration gleich groß“ (ChemgaPedia, S. 4)

Diese angemessene Aussage wird in einem weiteren Kapitel untergraben. Denn auf Seite acht wird behauptet, *„mischt man zum Beispiel gleiche Mengen Salzsäure und Natronlauge, entsteht eine Kochsalzlösung mit einem pH-Wert von 7.“* (ebd., S.8).

Bei Salzsäure und Natronlauge wird von einer starken Säure bzw. Base ausgegangen, jedoch sagt uns der Begriff Menge, nichts über die Konzentration der sauren bzw. basischen Lösungen aus und daher kann man auch bei gleicher Menge nicht von einem pH-Wert von 7 sprechen. Mit der Phrase „entsteht eine Kochsalzlösung mit einem pH-Wert von 7“ können mehrere Fehlvorstellungen gefördert werden. „Kochsalzlösung“ würde implizieren, dass festes Kochsalz in Wasser gelöst wurde. Bei der Reaktion einer Säure mit einer Base wird aber kein Kochsalz gebildet, welches anschließend gelöst wird, sondern es liegen aquatisierte Ionen ($Na^+_{(aq)}$ und $Cl^-_{(aq)}$) in wässriger Lösung vor.

Erst später wird im Kontext von starken und schwachen Säuren vermehrt auf die Notwendigkeit der Kenntnis der Konzentration der Lösungen hingewiesen. (vgl. ebd., S.9). Zwei Kapitel weiter steht dann geschrieben,

„Neutralisiert man statt einer starken Säure eine schwache Säure mit Natronlauge, so weist die Lösung keinen neutralen pH-Wert auf, sondern reagiert basisch.“ (ebd., S.11).

Mit dieser Aussage wird der entscheidende Faktor nur auf die Stärke der Säure bzw. Base eingeschränkt und wiederum die Konzentrationen der sauren und basischen Lösungen außer Acht gelassen. Zusätzlich ist der Begriff „neutralisieren“ irreführend, da nur unter den richtigen Voraussetzungen (äquimolare Mengen) eine neutrale Lösung gebildet werden kann.

Erst in der Zusammenfassung auf der letzten Seite des Kurses wird der angemessene Begriff „äquimolare Menge“ eingeführt.

„Werden äquimolare Mengen Säure und Base zur Reaktion gebracht, neutralisieren sie sich.“ (ebd., S.12).

Die Schwierigkeit liegt also darin, die angemessenen von den unangemessenen bzw. uneindeutigen Aussagen getrennt zu halten und dies kann nur durch umfangreiche Vorkenntnis bewerkstelligt werden. Da sich viele Studierende aber auch zusätzlich über Internetseiten dieser Art informieren, fördert dies die Bildung von Fehlvorstellungen und Mischkonzepten.

1.3. Fachliche Klärung zu den Aussagen 6-10 des Fragebogens

1.3.1. 6. „Säuren sind ätzend“

Die Aussage „Säuren sind ätzend“ impliziert eine Verallgemeinerung, die auf alle ‚Säuren‘ zutreffen müsste, sonst könnte man diese Aussage nicht bejahen. Erstmal muss man jedoch unterscheiden, was man mit dem Begriff ‚Säuren‘ meint. Meint man nun im Falle von Zitronensäure die kristalline Form, eine Zitronensäurelösung oder wird Zitronensäure nach Brønsted als Teilchen verstanden, das Protonen abgeben kann. Wenn man im Laborjargon von ‚Säuren‘ spricht, dann sind saure Lösungen gemeint. Die in den sauren Lösungen gebildeten Oxoniumionen sind die eigentlichen Verursacher der sauren Eigenschaften. Analog dazu sind die in der basischen Reaktion gebildeten Hydroxidionen für die basischen Eigenschaften verantwortlich. Auch die Wirkung dieser Hydroxidionen kann als „ätzend“ beschrieben werden.

Die Ätzwirkung von sauren bzw. basischen Lösungen liegt im Vorliegen einer hohen Anzahl an Oxoniumionen bzw. Hydroxidionen, welche aufgrund ihrer Ladung und im Vergleich dazu geringen Größe hoch reaktiv sind. Die reaktive Teilchenzahl steigt dementsprechend mit der Konzentration der Lösung, also der Anzahl der Säure- bzw. Baseteilchen, die Protonen abgeben bzw. aufnehmen können.

Ein weiterer Faktor ist die Stärke der Säure bzw. Base. Damit ist die Wahrscheinlichkeit gemeint, mit der Teilchen Protonen aufnehmen bzw. abgeben. Bei „starken“ Säuren bzw. Basen findet bei fast allen Teilchen eine Protonenübertragung statt. „Schwache“ Teilchen hingegen tun dies mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit. Dieses Verhalten wird bei Säuren mit dem Begriff „Protolysegrad“ beschrieben.

Wenn man nun die Ätzwirkung einer großen Anzahl solcher geladenen Ionen genauer betrachten will, muss man darauf achten mit welchen Teilchen diese reagieren. Ob eine geladene reaktive Spezies (H_3O^+) auf Hautgewebe, auf verschiedene Metalloberflächen, oder auf andere Substanzen ätzend/zerstörend wirkt, kann nicht verallgemeinert werden. Beim Einfluss von sauren Lösungen auf die Haut ist einerseits die Denaturierung der Hautproteine durch die Oxoniumionen zu erwähnen, diese Wirkung ist vergleichbar mit dem Braten eines Spiegeleis und der zu beobachtenden Verhärtung des Gewebes.

Es liegen aber gleichzeitig auch noch die sogenannten „Säurereste“ bzw. in basischen Lösungen „Basereste“, als Ionen in der Lösung vor, welche eine „ätzende“ Wirkung zeigen können. Bei einer schwefelsauren Lösung ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$) zum Beispiel liegen neben den Oxoniumionen (H_3O^+) auch noch Sulfationen (SO_4^{2-}) und Hydrogensulfationen (HSO_4^-) vor. Allen sauren Lösungen ist jedoch das Vorliegen von Oxonium- bzw. bei basischen Lösungen Hydroxidionen, gemein und daher beschränken wir uns auf die „ätzende“ Wirkung eben dieser Ionen.

Ebenfalls ein Faktor bei der Auswirkung von sauren Lösungen auf Gewebe/Materialien ist die Expositionsdauer, also wie lange der Kontakt mit der Substanz besteht. Bei einer Lösung mit hoher Konzentration, einer starken Säure wird auch die Ätzwirkung der sauren Lösung tendenziell zunehmen, da mehr Oxoniumionen involviert sind und diese mehr Zeit haben mit anderen Teilchen zu reagieren.

1.3.2. 7. „Basen schmecken seifig“

Man soll generell im Chemieunterricht Nichts kosten und daher sind Vorstellungen zum Geschmack für die Studierenden nicht einfach zu bewerten.

Man hat sich vor der Verwendung fortgeschrittener chemischer Analysemethoden auf die eigenen Sinne verlassen müssen und die Stoffe nach Eigenschaften, die man sehen, riechen, fühlen oder schmecken konnte, eingeteilt. Die Aussage, dass Basen seifig schmecken, entspringt dieser Zeit und sie hat sich als Merkspruch für basische Lösungen in den Lehrbüchern gehalten. Ein einzelnes Teilchen kann aber keinen Geschmack haben, da Teilchen erst in einer großen Anzahl für Eigenschaften wie Farbe, Geruch oder Geschmack für uns wahrnehmbar sind.

Wenn man nun von Brønsted ausgeht, dann sind Basen Teilchen, die Protonen aufnehmen können. Kommen nun Baseteilchen im Mund in Kontakt mit Wassermolekülen, dann nehmen die Basenteilchen Protonen von den Wassermolekülen auf und es entstehen die, für die basischen Eigenschaften verantwortlichen, Hydroxidionen. Diese sind, analog zu den Oxoniumionen, aufgrund ihrer geringen Größe und im Vergleich dazu hoher Ladungsdichte äußerst reaktiv.

Man müsste also auch hier exakter Weise von basischen Lösungen und nicht von ‚Basen‘ sprechen. Der seifige Geschmack solcher basischen Lösungen hat sich aber wiederum als geschichtliches Konzept in vielen Lehrbüchern und Curricula gehalten und wird oft unreflektiert als basische Eigenschaft dargestellt.

1.3.3. 8. Metall mit Säure, Bildung von Wasserstoff und Salz

„Unedle Metalle reagieren mit Säuren unter Bildung von Wasserstoff und Salz.“

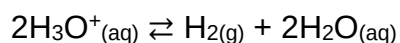
Das Metall wirkt in diesem Fall als Base.“

Bei dieser Reaktion handelt es sich nicht um eine Säure-Base-Reaktion, sondern um eine Redoxreaktion. Redoxreaktionen sind Elektronenübertragungsreaktionen und keine Protonenübertragungsreaktionen. Damit sind sie jedoch ebenfalls ein Beispiel für das Donator-Akzeptor-Konzept, unterscheiden sich von Säure-Base-Reaktionen jedoch in etlichen Bereichen.

Weiters müsste man auch hier von sauren Lösungen und nicht von Säuren sprechen, da es beispielsweise zwischen kristalliner Zitronensäure und unedlen Metallen zu keiner Reaktion kommen würde.

Als „unedel“ bezeichnet man alle Metalle, welche ein negatives Standardpotential aufweisen. Dieses negative Standardpotential gibt die Neigung eines Metalls an, Elektronen abzugeben und die Bezeichnung „unedel“ kennen die Studierenden nur aus der Thematik der Redoxchemie. Sollten Studierende des Chemielehramts also die Begriffe „edel“ und „unedel“ hören oder lesen, muss man eigentlich davon ausgehen, dass diese mit der Redox-Thematik in Verbindung gebracht werden.

Wasserstoffmoleküle (H_2) werden in einer sogenannten Disproportionierungsreaktion gebildet. Diese ist ebenfalls ein Beispiel für eine Teilreaktion in der Redoxchemie.



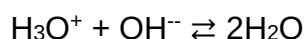
Auch die „*Bildung von Salz*“ findet nur in äußerst seltenen Fällen statt und in der Regel bleiben die Ionen in Lösung.

Um den letzten Teil „*das Metall reagiert dabei als Base*“ zu klären hilft es, sich die Definition einer Brønsted-Base nochmal vor Augen zu führen. Eine Brønsted-Base ist ein Teilchen, welches Protonen/ H^+ -Ionen aufnehmen kann. Unedle Metallatome nehmen jedoch keinen Protonen auf, sondern sie geben Elektronen ab, welche in einer Redoxreaktion von Oxoniumionen aufgenommen werden und zur Disproportionierungsreaktion führen. In dieser Redoxreaktion werden die unedlen Metallatome oxidiert und die Oxoniumionen reduziert. Die Metallatome können also nicht als Base wirken, da es sich nicht um eine Säure-Base-Reaktion handelt.

1.3.4. 9. Neutralisationsreaktion, Bildung von Salz und Wasser

„Bei der Neutralisationsreaktion reagieren Säure und Base unter Bildung von Salz und Wasser.“

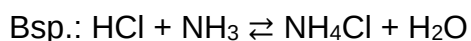
Auch hier müsste man, um Ungenauigkeiten zu vermeiden von sauren und basischen Lösungen sprechen, da die Neutralisationsreaktion nur in wässrigem Milieu stattfindet. Gibt man saure und basische Lösungen zusammen reagieren in der sogenannten Neutralisationsreaktion Oxoniumionen mit Hydroxidionen zu Wassermolekülen. Die Bildung von Wasser(-molekülen) ist also der zentrale Aspekt der Neutralisationsreaktion.



Die allfälligen Base- und Säurereste bleiben meist als Ionen in Lösung und spielen für die Neutralisationsreaktion an sich keine Rolle. Es wird also meist kein festes Salz gebildet.

Der Merksatz „*Säure und Base reagieren zu Wasser und Salz*“ wird nicht nur in Onlinforen (siehe 1.2.3.2.) sondern auch in diversen Schulbüchern (vgl. Lembens, Reiter 20b18) unreflektiert verwendet. Die vermeintliche Zeitersparnis, die man mit der Verwendung des Merkspruchs erhält, erkaufte man durch Ungenauigkeiten und unterstützt somit die Bildung von unangemessenen und uneindeutigen Vorstellungen.





Die Base- und Säurereste werden ebenfalls angegeben, da diese sich zwar in der Lösung befinden und der Vollständigkeit halber nicht fehlen dürfen, jedoch für die Neutralisationsreaktion keine Rolle spielen. Für die Einfachheit der Schreibweise werden diese nicht in der Ionenschreibweise ($\text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$), sondern als „Salz“ (NH_4Cl) angeschrieben. Die Wassermoleküle der wässrigen Lösung werden nicht angeschrieben, da es klar ist, dass man sich in wässrigem Milieu befindet.

Diese vereinfachte Schreibweise erschwert das Erkennen der tatsächlich ablaufenden Reaktionen. Man kann erstens die für die Neutralisationsreaktion verantwortlichen Ionen nicht sofort erkennen und zweitens ist mit der Schreibweise „NaCl“ und dem Ausspruch „Säure und Base reagieren zu Wasser und Salz“ die tatsächliche Salzbildung als unangemessene Vorstellung bei den Lernenden vorprogrammiert.

1.3.5. 10. Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7

„Wenn bei der Neutralisationsreaktion gleiche Mengen von Säure und Base reagieren, ist der pH-Wert der Lösung gleich 7.“

Wiederum muss man auch bei dieser Aussage nicht von Säuren und Basen, sondern von sauren und basischen Lösungen sprechen, denn wie schon erwähnt, läuft die Neutralisationsreaktion nur in wässrigem Milieu ab und auch der pH-Wert kann nur in diesen Lösungen ermittelt werden.

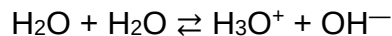
Bei verdünnten Lösungen entspricht der pH-Wert in Näherung dem negativen dekadischen Logarithmus der Konzentration (c), also Anzahl der Oxoniumionen in einem gewissen Volumen Wasser.

$$\text{pH} = -\log c_0 (\text{H}_3\text{O}^+)$$

Analog zum pH-Wert wurde auch ein pOH-Wert definiert, also die Anzahl der Hydroxidionen in einer Lösung.

$$\text{pOH} = -\log c_0 (\text{OH}^-)$$

Diese beiden Werte hängen über die Autoprotolyse und somit über das Ionenprodukt des Wassers zusammen. Wassermoleküle reagieren mit gewisser Wahrscheinlichkeit mit anderen Wassermolekülen, dabei reagiert ein Wassermolekül als Säure und gibt ein Proton ab, und ein anderes Wassermolekül reagiert als Base und nimmt dieses auf.



Mit dem pH-Wert werden Lösungen in „sauer, basisch oder neutral“ eingeteilt. Aus dem Ionenprodukt des Wassers und der Berechnung der negativen dekadischen Logarithmen der Konzentrationen der Oxonium- und Hydroxidionen erhält man eine 14-teilige Skala. Der Bereich größer Null und kleiner Sieben wird als sauer, exakt Sieben als neutral und größer Sieben bis 14 als basisch bezeichnet. Es gibt jedoch Lösungen, deren pH-Werte diese Skala übertreffen. Da dies aber für die Bewertung der zehnten Aussage nicht von Belang ist, kann dies vernachlässigt werden.

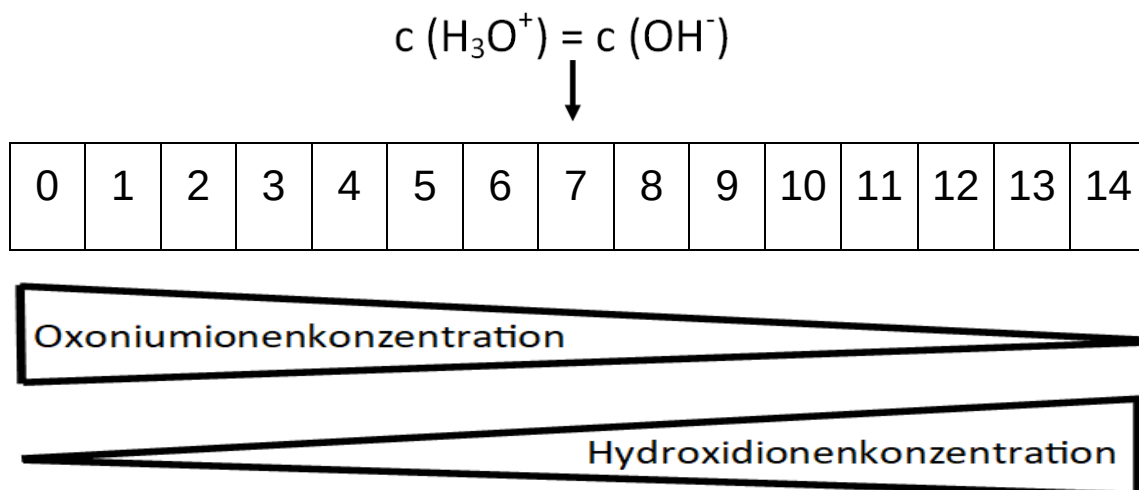


Abbildung 9: pH-Wert-Skala, Definition „neutraler pH-Wert“

Der Abbildung 9 kann man die Definition des neutralen pH-Werts 7 entnehmen. Dieser ist bei einer gleichen Anzahl an Oxoniumionen und Hydroxidionen gegeben. Bei einem neutralen pH-Wert von 7 befinden sich also gleich viele Oxonium- wie Hydroxidionen in der Lösung. Diesen Zustand bezeichnet man als „neutral“.

„Gleiche Menge“ von Säure und Base sagt jedoch noch nicht aus, wie viele dieser Ionen vorliegen, sondern gibt nur Auskunft über das Volumen der Lösung oder Stoffmenge des gelösten Stoffes in der Lösung. Wie bei der Definition des neutralen pH-

Werts erläutert, müssen aber exakt gleich viele Oxonium- und Hydroxidionen in der Lösung vorhanden sein. Dafür muss die Stärke der Säure- und Baseteilchen, sowie die Stoffmengenkonzentrationen der verwendeten Lösungen und das Volumen bzw. die Menge der zugegebenen Lösungen bekannt sein. Damit der pH-Wert gleich 7 ist, muss man von einer gleichen Anzahl an reagierenden Oxonium- und Hydroxidionen sprechen und dies wird als äquimolare Menge bezeichnet.

2. Empirischer Teil

2.1. Beschreibung des Forschungsfelds

In dieser Diplomarbeit werden die Daten, welche mittels eines zehn Aussagen umfassenden Fragebogens zu den Vorstellungen der Studierenden zum Thema ‚Säuren und Basen‘ erhoben wurden, ausgewertet. Seit dem Sommersemester 2013 wird dieser Fragebogen im Rahmen des Seminars „Einführung in die Didaktik der Chemie“ an der Universität Wien durchgeführt. Die Studierenden wurden dabei gebeten, klassische Aussagen aus dem ‚Säure-Base‘-Kontext als „richtig“ oder „nicht richtig“ zu bewerten.

Im Zeitraum des Sommersemester 2013 bis Wintersemester 2016/17 haben 147 Studierende aus sieben Kursen, ein Kurs pro Semester, den Fragebogen ausgefüllt. In diesem Zeitraum war das *„Ziel dieser Befragung [...], mit den Studierenden des Unterrichtsfaches Chemie in eine Diskussion einzusteigen und sie zu einer Reflexion ihrer eigenen Vorstellungen anzuregen, um die Bedeutung der Thematisierung und Bearbeitung von SchülerInnenvorstellungen für das Lehren und Lernen von Chemie ins Bewusstsein der angehenden LehrerInnen zu heben.“* (Lembens & Becker, 2017, S. 12). Es wurde daher auch noch nicht nach Begründungen für die Wahl „richtig“ oder „nicht richtig“ gefragt.

Diese Verwendung des Fragebogens, als reiner Gesprächsanlass zu den vorhandenen Vorstellungen der Studierenden zum Thema ‚Säuren und Basen‘, änderte sich mit dem Wintersemester 2016/17. Bei der Leitung der Lehrveranstaltung „Einführung in die Didaktik der Chemie“ herrschte immer das Gefühl, dass die Studierenden aus dem Seminar nicht so viel mitnehmen konnten, wie erhofft. Aus diesem Grund wurde der Fragebogen ab dem Wintersemester 2016/17 auch am Ende des jeweiligen Semesters an die Studierenden ausgegeben, um die vorhandenen Vorstellungen zu dokumentieren und die möglichen Veränderungen dieser Vorstellungen dann auch in einem Vergleich der Begründungen „vorher“ zu „nachher“ zu analysieren. Um diese Analyse besser durchführen zu können wurden die Studierenden nun zusätzlich gebeten, ihre Wahl „richtig“ oder „nicht richtig“ auch zu begründen. Der Zeitraum 2016/17 - 2019 umfasst in sechs Semestern, neun Kurse und 192 Studierende. Im Wintersemester 2016, 17 und 18 wurden jeweils zwei Kurse gehalten.

Das Seminar „Einführung in die Didaktik der Chemie“ steht als Pflichtmodul in den Studienplänen des Lehramts Chemie. Da sich dieses aber seit 2015 in einer Umstellung befindet, vom Diplomstudium zu einem Bachelor- und anschließendem Masterstudiengang, setzten sich die TeilnehmerInnen aus verschiedenen Curricula zusammen. Im auslaufenden Diplomlehramtsstudium, sowie auch im neuen Lehramtsstudium, gibt es Voraussetzungsketten, welche absolviert werden müssen, bevor man zu diesem Seminar zugelassen wird. Bei den Veranstaltungen, welche Voraussetzung für das Teilnehmen an diesem fachdidaktischen Seminar sind, handelt es sich für beide Curricula um die Veranstaltungen der Studien Eingangs- und Orientierungsphase (StEOP), - Proseminar (PS) und Einführende Laborübungen (PR) - sowie der einer weiteren Vorlesung, - VO Allgemeine Chemie. Im Bachelorstudium wurde die Vorlesung „Allgemeine Chemie“ etwas gekürzt, und dafür mit einem Seminar zur Vorlesung, - Seminar zur VO Allgemeine Chemie A - versehen. Diese werden ausführlich unter Punkt 2.1.1 behandelt.

Beim Seminar „Einführung in die Didaktik der Chemie“ selbst, handelt es sich um eine Einführungsveranstaltung und diese ist somit im Diplomstudium für den 1. Abschnitt/1. Hälfte des Studiums vorgesehen und ist eine von zwei fachdidaktischen Veranstaltungen in der ersten Hälfte des Studiums.

Im unverbindlichen Leitfaden des Bachelorstudiums wird die Absolvierung für das 2. Semester empfohlen, sofern die Voraussetzungsketten schon erfüllt wurden. (vgl. Teilcurriculum, 2016, S.11)

2.1.1. Einführende universitäre Veranstaltungen

Auf jeden Fall haben die Studierenden schon an der StEOP, Studien Eingangs- und Orientierungsphase teilgenommen. Diese besteht für die Diplomstudierenden wie auch für die Studierenden des Bachelor- und Masterstudiengangs, aus „Proseminar (PS) und dem Praktikum, Einführende Laborübungen (PR) Chemisches Grundpraktikum I“ (vgl. Teilcurriculum, 2016, S.4; Studienplan, 2011, S. 6). Diese sind Voraussetzung für die Meldung zu allen weiterführenden Veranstaltungen.

Im Proseminar werden verschiedenste Übungen zum stöchiometrischen Rechnen in der Chemie durchgeführt und wöchentlich abgeprüft. Dabei werden Reaktionsgleichungen aufgestellt und diese mit verschiedensten Berechnungen zu benötigten Stoffmengen, oder Konzentrationen von Lösungen ergänzt. Dabei wird auch das Thema pH-Wert von sauren oder basischen Lösungen, sowie die Verwendung der Puffergleichung, welche ebenfalls in Bezug auf das Thema Säure-Base-Reaktion Verwendung findet, mathematisch bearbeitet. Das wird in relativ kurzer Zeit, in zwei von sieben Einheiten, abgehakt. Problematisch dabei ist, dass nicht auf die sprachlichen und theoretischen Feinheiten eingegangen wird, welche für ein angemessenes Verstehen benötigt werden. Die Studierenden können anschließend meist nur die Berechnungen durchführen und die dazugehörigen Reaktionsgleichungen aufstellen, die fachlichen Grundlage, auf die sie sich dabei stützen, sind aber meist unklar.

Das „PR Chemisches Grundpraktikum I“, auch „Einführenden Laborübungen“ genannt, soll den Studierenden einen Einblick in das chemische Arbeiten im Labor ermöglichen. Hier wird mit sauren und basischen Lösungen und anderen Stoffen gearbeitet, dabei geht es jedoch weniger um die fachlichen Grundlagen als vielmehr um die korrekte und sichere Verwendung der Gerätschaften und um die Einübung der einfachsten und häufigsten chemischen Arbeitsweisen. Also wie man möglichst effizient und sicher in einem chemischen Labor arbeitet. In diesem Zusammenhang werden die Vorstellungen der Studierenden, durch den verwendeten Laborjargon nur noch verstärkt.

Mit der Absolvierung dieser beiden Veranstaltungen ist die StEOP geschafft und die Studierenden müssen für eine Anmeldung zum Seminar „Einführung in die Didaktik der Chemie“ nur noch das Modul „Allgemeine Chemie“ ablegen.

Im Diplomstudiengang besteht dieses Modul aus der Vorlesung „VO Allgemeine Chemie“. Im Bachelor- und Masterstudiengang sind vor dem Seminar „Einführung in die Didaktik der Chemie“ die Pendanten zur „VO Allgemeine Chemie“, „VO Allgemeine Chemie A“ und „Seminar zur VO Allgemeine Chemie A“, zu absolvieren.

In den Vorlesungen „VO Allgemeine Chemie“ und „VO Allgemeine Chemie A“ finden sich einige Inhalte zur Säure-Base-Thematik, diese sind aber nur ein kleiner Teil der gesamten Vorlesung und die Studierenden des Lehramtes lernen hauptsächlich für das Erreichen einer positiven Note und achten dabei nicht auf sprachliche Feinheiten.

Es geht darum, die Inhalte bei der Prüfung zur Vorlesung möglichst getreu, wie sie in den Skripten geschrieben stehen, wiederzugeben. Reflektiertes Lernen findet nur in den wenigsten Fällen statt.

Die Ergänzung der Vorlesung durch ein Seminar im Bachelor- und Masterstudiengang, in dem Inhalte mit Blick auf das Unterrichten in der Schule noch einmal aufgearbeitet und reflektiert werden, ist eine gute Ergänzung zum bloßen Lernen für die Prüfung. Neben Themen wie Teilchenmodell, Atommodelle, Schüler*innenvorstellungen, Molebegriff, chemische Bindungen, Reaktionskinetik und Gleichgewichtskonzept wird auch das Donator-Akzeptor-Konzept - mit dem Hauptfokus auf Redoxreaktionen - in Referaten durch die Studierenden vorgestellt. Dabei sollen die Studierenden *„ausgewählte Aspekte der Vorlesung „Allgemeine Chemie A“ mit Blick auf Bildungsrelevanz und Umsetzungsmöglichkeiten in der Schule fachlich und fachdidaktisch reflektieren.“* und *„erste Einblicke in die Herausforderungen des Lehrens und Lernens von Chemie gewinnen“* (Flandorfer et al., 2014, S. 3). Die Säure-Base-Thematik wird nur kurz in Verbindung mit dem Donator-Akzeptor-Konzept angesprochen, da für die ausführliche Behandlung des Themas speziell das Seminar „Einführung in die Didaktik der Chemie“ vorgesehen ist.

Man kann davon ausgehen, dass diese drei bzw. vier Veranstaltungen vor dem Seminar „Einführung in die Didaktik der Chemie“ abgelegt wurden und die Studierenden einiges an Halb- und Alltagswissen aus der Schulzeit, gemischt mit angemessenen fachlichen Grundlagen aus den einführenden Veranstaltungen auf der Universität, gesammelt haben.

2.2. Beschreibung des Fragebogens

Der Fragebogen beinhaltet auf zwei einseitig bedruckten A4-Seiten eine Anleitung zur Erstellung eines personalisierten Codes und zehn Aussagen zu den Vorstellungen der Studierenden zum Thema ‚Säuren und Basen‘ (siehe Anhang S.119-120).

Die in dieser Diplomarbeit bearbeitete zweite Hälfte des Fragebogens, besteht aus Aussagen, die sich auf unterschiedliche Themenfelder innerhalb des Themengebietes ‚Säuren und Basen‘ beziehen und typische Schüler*innenvorstellungen adressiert.

6. „Säuren sind ätzend“
7. „Basen schmecken seifig“
8. „Unedle Metalle reagieren mit Säuren unter Bildung von Wasserstoff und Salz. Das Metall reagiert dabei als Base.“
9. „Bei der Neutralisationsreaktion reagieren Säure und Base unter Bildung von Wasser und Salz.“
10. „Wenn bei der Neutralisationsreaktion gleiche Mengen an Säure und Base reagieren, ist der pH-Wert der Lösung gleich 7.“

Viele dieser Phrasen werden als Merkhilfen im Unterricht und den universitären Veranstaltungen eingesetzt. Durch den Einsatz eben solcher Lernendenvorstellungen wird versucht, die Studierenden auf deren sprachliche Ungenauigkeiten aufmerksam zu machen. Darum wurde der Fragebogen zu Beginn der Erhebungen auch nur als Gesprächsanlass für einen reflektierten Umgang mit den eigenen Vorstellungen eingesetzt. *„This is aimed at stimulating students’ reflection about their own (mis-)conceptions, triggering conceptual change, and introducing the importance of knowing about learners’ pre- and alternative conceptions for fruitful teaching and learning“* (Lembens, Reiter, 2018b, S.1661).

Durch die detaillierte Erhebung ab dem Wintersemester 2016/17 erhoffte man sich einen besseren Einblick, welche Vorstellungen vorliegen und ob diese fachlich angemessener, oder unangemessener Natur sind, sowie inwiefern das Seminar „Einführung in die Didaktik der Chemie“ diese Vorstellungen beeinflusst.

2.3. Beschreibung der Daten

Die Daten zu den Vorstellungen der Studierenden zum Thema ‚Säuren und Basen‘ werden seit dem Wintersemester 2012/13 im Rahmen der erwähnten Lehrveranstaltung erhoben. Sie liegen in Form von Rohdaten in einer Exceldatei vor, welche, inklusive Sommersemester 2019, 339 Chemielehramtsstudierende umfassen.

Im Zeitraum Sommersemesters 2013 bis Sommersemester 2016 wurde nur erfasst ob die Studierenden die Aussagen mit „richtig“ oder „nicht richtig“ bewertet haben. Erst

ab der Umstellung im Wintersemester 2016/17 wurden die Fragebögen auch am Ende des jeweiligen Semesters ausgefüllt. Zusätzlich wurden ab diesem Semester die Studierenden auch nach Begründungen für ihre Bewertung gefragt und diese wurden ebenfalls in der Exceldatei erfasst. Dadurch erhofft man sich eine ausführlichere Analyse des Lernertrags.

Um die einzelnen Vorher-Fragebögen später den Nachher-Fragebögen zuordnen zu können, werden die Studierenden gebeten, einen personalisierten „Code“ zu erstellen. Dafür müssen die ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter, die ersten beiden Ziffern des eigenen Geburtstages und der zweite und dritte Buchstaben des eigenen Vornamens auf dem Fragebogen angegeben werden. Wie man an dem Beispielcode „MA 06 OB“ erkennen kann, lassen sich diese Fragebögen anonym auswerten, jedoch kann man erkennen, wie die jeweilige Person „vorher“ und „nachher“ geantwortet hat.

Bitte erstellen Sie einen Code:		IHR CODE:		<u>Beispiel</u>		CODE:	
die ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter				Vorname der Mutter: <u>Maria</u>	M	A	
die ersten beiden Ziffern deines eigenen Geburtstages				Eigener Geburtstag: <u>06.10.1992</u>	0	6	
Zweiter und dritter Buchstabe des eigenen Vornamens				Eigener Vorname: <u>Robert</u>	O	B	

Abbildung 10: Kopf des Fragebogens, Erstellung des personalisierten Codes

2.4. Das Kategoriensystem

2.4.1. Vorgehensweise bei der Erstellung des Kategoriensystems

Aufgrund der Offenheit der Aussagen und der Vielfalt an vorhandenen Vorstellungen begründen die Studierenden in unterschiedlichster Art und Weise. Um diese Vielfalt an Begründungen zuordnen zu können, wurde ein Kategoriensystem erstellt. Dafür wurde zuerst ein kleiner Datensatz von 35 Personen gesichtet, um einen Überblick über die vorhandenen Vorstellungen zu erhalten. Dabei lag besonderes Augenmerk

auf Überbegriffen und ähnlichen Formulierungen, um ein Kategoriensystem zu entwickeln, welches die Vielfalt an vorhandenen Vorstellungen möglichst abdeckt.

Die Begründungen und deren Varianten standen vorerst im Vordergrund. Diese konnten, mithilfe der fachlichen Klärung, in fachlich angemessene, fachlich unangemessene, nicht ausreichend aussagekräftige und unklare Begründungen eingeteilt werden. Weiters gaben Studierende auch an, dass sie es nicht wissen.

Als Überkategorien gelten nun diese fünf:

- (A) Fachlich angemessene Begründungen
- (B) Fachlich unangemessene Begründungen
- (C) Nicht genügend Aussagekraft
- (D) Unklare Begründungen
- (E) „Ich weiß es nicht“

Diese können, je nach Aussage, in unterschiedliche Unterkategorien aufgeteilt werden. Diese Unterkategorien wurden anschließend (siehe Punkt 2.4.4 -2.4.8.) beschrieben im Sinne von „diese Aussage gilt als fachlich angemessen, unangemessen usw. da ...“.

Die Einteilung in diese Über- und Unterkategorien wurde durch mehrere Gespräche im Forschungsseminar mit dem Team des österreichischen Kompetenzzentrums für Didaktik der Chemie (AECC) und mithilfe der Kommentare von Frau Prof. Lembens präzisiert und dementsprechend mehrmals überarbeitet. Im Forschungsseminar werden die diversen wissenschaftlichen Arbeiten im Fachbereich der Didaktik der Chemie durch das Team des AECC unterstützt.

Im letzten Schritt konnte durch die Analyse weiterer Datensätze die Formulierung der einzelnen Kategorien und deren Unterkategorien überarbeitet und optimiert werden. Im nächsten Abschnitt werden diese genau beschrieben und dadurch von anderen Unterkategorien abgegrenzt.

Manche Begründungen der Studierenden kann man nicht nur einer Kategorie zuordnen und werden daher speziell in der Auswertung behandelt. Dies führt, verglichen mit der Anzahl der abgegebenen Begründungen, zu einer Abweichung an gegebenen Teilbegründungen. Beispielsweise kann man das an dieser Begründung für Aussage

Neun zeigen „*Weil H_3O^+ und OH^- zu Wasser reagieren und die jeweiligen Salze über bleiben oder miteinander zu neuen Stoffen reagieren*“. Im ersten Teil erkannte der/die Studierende die Oxonium- und Hydroxidionen als die reagierenden Teilchen, war sich aber im zweiten Teil nicht im Klaren, ob und wie in dieser Reaktion Salz gebildet wird. Solche Begründungen liefern einen besonderen Einblick in die Gedankengänge und die vorherrschenden Vorstellungen der Studierenden.

2.4.2. Die Musterbegründungen

In einem weiteren Schritt vor der Auswertung der Daten wurden auch für jede der fünf Aussagen sogenannte Musterbegründungen definiert. Damit werden jene Begründungen bezeichnet, welche alle Teilaspekte der Aussage fachlich angemessen darstellen.

Von den Studierenden wird erwartet, dass sie fachlich angemessene Aussagen von fachlich unangemessenen unterscheiden können und diese Entscheidung anschließend auch begründen können. Dafür müssen die Studierenden auch die diversen sprachlichen Ungenauigkeiten in den verwendeten Begriffen („Säure“, „Base“, „gleiche Menge“...) erkennen können.

Einige der Aussagen überspannen mehrere theoretische Teilgebiete der Säure-Base-Thematik und man muss diese in ihrer Ganzheit verstanden haben, sowie diese auch aufeinander in ihren Zusammenhängen beziehen können. Solch ein Verständnis wird hier ebenfalls erwartet.

Diese Musterbegründungen spielen für die Analyse eine wichtige Rolle, da man dadurch erkennen kann, welche Aussagen in vollem Umfang, also sprachlich, fachlich und didaktisch angemessen von den Studierenden bewertet wurden.

2.4.3. Beschreibung der Überkategorien

Als Beispiele werden immer Begründungen zur achten Aussage, „Unedle Metalle reagieren mit Säuren unter Bildung von Wasserstoff und Salz. Das Metall wirkt in diesem Fall als Base.“, angegeben und mit Ankerbeispielen belegt. Ankerbeispiele sind in die-

sem Fall Begründungen der Studierenden, welche tatsächlich zur Begründung der abgegebenen Bewertung genannt wurden. Diese werden kursiv geschrieben und in Anführungszeichen gesetzt.

(A) Fachlich angemessene Begründungen

Hierbei handelt es sich um Begründungen der Studierenden, welche die entsprechenden fachlichen Gebiete ansprechen und die zentralen Aspekte der Aussage behandeln. Dabei sind diese im Idealfall ident mit den formulierten Musterbegründungen sind.

Bsp.: *„Es handelt sich hier um eine Redoxreaktion. Es wird meist kein Salz gebildet“*

Dabei werden auch solche Begründungen als fachlich angemessenen eingestuft, welche nur die zentralen Aspekte der Aussage behandeln.

Bsp.: *„Es handelt sich hier um eine Redoxreaktion.“*

(B) Fachlich unangemessene Begründungen

Solche Begründungen sind aufgrund verschiedenster Faktoren fachlich unangemessen. Es wird eine unangemessene Vorstellung ausgedrückt, oder die Studierenden beziehen sich in unangemessener Weise auf fachliche Teilgebiete.

Bsp.: *„Es wird immer Salz gebildet.“ „Das Metall reagiert als Base.“ ...*

Es wird nur in sehr seltenen Fällen Salz gebildet. Das Metall reagiert nicht als Base, da es sich nicht um eine Säure-Base-Reaktion handelt.

(C) Nicht aussagekräftig genug

Dabei sind nur Teile der Musterbegründungen angesprochen worden, die aber für sich allein als Begründung zu sehr verkürzen. Auch Begründungen, welche zentrale Aspekte der Aussagen auslassen, werden als nicht aussagekräftig genug definiert.

Bsp.: *„Es wird nur selten Salz gebildet.“*

Der zentrale Aspekt der achten Aussage, nämlich dass es sich um eine Redoxreaktion handelt wurde nicht erwähnt.

(D) Unklare Begründungen

Studierende liefern inhaltlich korrekte Begründungen, die aber nichts mit der Aussage zu tun haben und somit als „unklar“ gelten.

Bsp.: *„Eine Säure ist ein Protonendonator.“*

Bei manchen Begründungen kommt auch nicht heraus, auf welchen Teil der Aussage diese Bezug nehmen.

Bsp.: *„Die Fragestellung ist zu vage.“*

Die Studierenden verwenden uneindeutige Begriffe, um ihre Begründung zu untermauern. Dabei kann nicht erkannt werden, ob die Studierenden fachlich angemessene oder fachlich unangemessenen Vorstellungen mit diesen Begriffen verbinden.

Bsp.: *„Metalle können als Kationen wirken.“*

Man konnte nicht alle Wörter der Begründung entziffern, bzw. lässt sich in der Satzstellung und dem antizipierten Gedankengang kein Sinn erkennen.

Bsp.: *„Wasserstoff wäre explosiv.“*

(E) „Ich weiß es nicht“

Es kommt auch vor, dass Studierende mit Phrasen wie *„Ich vermute es“*, *„Ich weiß es nicht“*, oder einfach einem Fragezeichen „?“ ihre Wahl begründen. Diese fallen nicht unter fachlich angemessen, unangemessen oder unklar, da man hier erkennen kann, dass die Studierenden mit der Fragestellung überfordert sind. Man kann nicht erkennen, ob Vorstellungen irgendeiner Art damit verbunden sind, da keine genannt werden.

Für jede der fünf Aussagen fallen die Unterkategorien unterschiedlich aus und daher werden diese speziell ab Punkt 2.4.4. für jede Aussage formuliert und mit Ankerbeispielen belegt.

2.4.4. 6. „Säuren sind ätzend“

2.4.4.1. Musterbegründung

Die Aussage „Säuren sind ätzend“ spielt auf die breit rezipierte Eigenschaft von sauren Lösungen an, bei Kontakt eine zerstörende bzw. verletzende Wirkung zu zeigen. Da diese Eigenschaften aber von einer hohen Anzahl an Oxoniumionen, welche nur in

wässriger Lösung gebildet werden, abhängt, wird die Bewertung der Aussagen für die Studierenden zu einer Herausforderung. Denn fachlich gesehen, hängt die Anzahl dieser Ionen von der Stärke der ‚Säuren‘ und der Konzentration der sauren Lösung ab. Diese Anzahl kann auch durch die Angabe des pH-Wertes erkennbar gemacht werden.

Für die Musterbegründung muss man nun diese Teilgebiete des Säure-Base-Modells nach Brønsted aufeinander beziehen können und in ihren einzelnen Ausformulierungen verstanden haben. In diesem Sinne wird eine Musterbegründung als fachlich angemessen angesehen.

Musterbegründung 1

Ätzend kann eine Säure nur in wässriger Lösung sein. Nicht alle ‚Säuren‘ bilden ätzende Lösungen. Die Ätzwirkung hängt von der Stärke der ‚Säure‘ und der Konzentration ihrer Lösung ab.

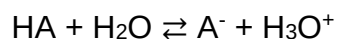
2.4.4.2. (A) Fachlich angemessene Begründungen

Neben der beschriebenen Musterbegründung gelten folgende Teilbegründungen als angemessen, da die zentralen Aspekte der Aussage behandelt werden.

A1 „Es hängt von der Stärke der Säure und der Konzentration der sauren Lösung ab.“

Hier wird der Aspekt „Nicht alle ‚Säuren‘ bilden ätzende Lösungen“ nicht speziell erwähnt. Man kann aber davon ausgehen, dass mit der Phrase „es hängt ab von...“ dies mitimpliziert wird.

Ob eine wässrige Lösung einer Säure ätzend wirkt hängt von der Konzentration eines Stoffes (in Mol/L) ab, also wie viele Teilchen pro Volumen Wasser vorliegen. In Kombination dazu gibt uns die Stärke einer Säure Auskunft darüber, in welchem Maße die vorliegenden Säureteilchen ihre Protonen an Wassermoleküle übertragen.



A2 „Es hängt von der Anzahl der gebildeten Oxoniumionen ab, diese sind für die sauren Eigenschaften verantwortlich.“

Hier sieht man, dass Studierende mit dieser Begründungsweise, Säuren als Teilchen in wässriger Lösung verstanden haben und die Wirkung der Lösungen richtigerweise auf die reaktiven geladenen Teilchen zurückführen, welche in der Säure-Base-Reaktion zwischen Wassermolekül und Säureteilchen gebildet werden.

2.4.4.3. (B) Fachlich unangemessene Begründungen

Die folgenden Begründungen gelten als fachlich unangemessen.

B1 *„das hängt vom Aufbau der Säure ab“, „Carbonsäure (langkettige) z.B. Lindsäure ist nicht ätzend“,*

Der atomare Aufbau der Säuremoleküle spielt hier keine Rolle

B2 *„Säuren drängen Protonen auf/Stoffe gehen kaputt, wenn sie als Base reagieren“*

Diese Art der Phrasierung „sie drängen Protonen auf“ lässt eine unangemessene Vorstellung erkennen, da so impliziert wird, dass Säuren andere Teilchen zwingen könnten als Base zu reagieren, auch wenn sie dazu nicht in der Lage sind und das ist falsch. Ebenfalls gehen Teilchen nicht „kaputt“, wenn sie als Base reagieren, sie nehmen lediglich ein Proton auf.

B3 *„Säuren wollen sich neutralisieren und sind instabil“*

Man kann nicht von einem „Wollen“ von sauren Lösungen sprechen, sich in der Reaktion mit anderen Stoffen zu neutralisieren.

B4 *„Nur starke Säuren sind ätzend“*

Auch konzentrierte saure Lösungen schwacher Säuren können ätzend wirken.

B5 *„Säuren katalysieren Reaktionen.“*

Säuren sind keine Katalysatoren, denn Katalysatoren setzen die Aktivierungsenergie für gewisse Reaktionen herab, erleichtern deren Ablauf also auch bei zum Beispiel geringeren Temperaturen, und werden selbst nicht verbraucht. Dies trifft jedoch nicht auf Oxoniumionen zu.

2.4.4.4. (C) Nicht genügend Aussagekraft

Fachlich angemessene Begründungen, die aber für sich allein betrachtet nicht genügend Aussagekraft haben. Diese Begründungen bestehen aus den Teilgebieten der Musterbegründung 1 und lassen für sich alleinstehend keine Schlüsse über die fachliche Angemessenheit der Vorstellung der Studierenden zu.

C1 „Nicht alle Säuren sind ätzend“

Es ist zwar richtig zu sagen, dass „nicht alle Säuren ätzend sind“, jedoch kommt mit dieser Begründung allein nicht heraus, welche Teilgebiete der Musterbegründung (wässrige Lösung, Konzentration der Lösung, Stärke der Säure) oder sogar unangemessene Vorstellungen damit gemeint sind.

C2 „Es hängt von der Konzentration ab“

Wäre nur die Konzentration einer Lösung bekannt, könnte man keine Aussage über die Anzahl der gebildeten Oxoniumionen treffen, da man die Stärke dieser Teilchen nicht kennt.

C3 „Es hängt von der Säurestärke ab“

Würde man umgekehrt nur die Stärke der Teilchen kennen, wüsste man zwar, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Säureteilchen Protonen übertragen, jedoch nicht wie viele Teilchen vorliegen, die dies tun können.

C4 „Eine saure/wässrige Lösung wirkt ätzend“

Ebenfalls ist die Begründung „eine wässrige/saure Lösung“ nicht ausreichend, da zwar richtigerweise von sauren Lösungen gesprochen wird, aber eben nicht jede saure Lösung automatisch ätzend wirkt.

C5 „Basen können auch ätzend sein.“

C6 „Nicht jedes Material wird angegriffen.“

Mit diesen Begründungen zeigen diese Personen, dass nicht nur ‚Säuren‘ ätzend sein können, jedoch kommt nicht heraus von was dies nun abhängt.

2.4.4.5. (D) Unklare Begründungen

Die folgenden Begründungen sind als unklar einzustufen.

D1 fachlich angemessene Begründungen, die aber keine ausreichende Information über den Gedankengang erkennen lassen.

D1.1 Aussagen zur Wirkung

„Säuren sind oxidierend/korrosiv/korrodierend.“ „Säuren zersetzen, lösen, verbrennen.“ „Säuren sind wasserentziehend.“ „Säuren gehen Reaktion mit der Haut ein/reagieren mit der Haut/greifen Schleimhäute an.“ „Das wissen wir aus der Erfahrung.“ „Weil Warnhinweise draufstehen.“

Mit Aussagen dieser Art werden nicht die Oxoniumionen in Verbindung mit der Ätzwirkung gesetzt, sondern andere Attribute hervorgehoben. Begründungen für die Ätzwirkung von sauren Lösungen aus der Erfahrung bzw. Wirkung heraus, entsprechen nicht dem theoretischen Anforderungsniveau einer angehenden Chemielehrkraft.

D1.2 *„H₂O kann als Säure und auch als Base reagieren.“*

D1.3 *„Säuren sind Protonendonatoren.“*

Diese Begründungen sind zwar fachlich angemessen, jedoch wurden die zentralen Aussagen nicht thematisiert und daher ist unklar, ob diese nicht bekannt sind oder für unwichtig empfunden wurden.

D2 „Das hängt von der Art der Säure ab“, „Bsp. Zitronensäure/Essigsäure sind nicht ätzend“

Mit dieser Begründung kommt nicht klar heraus was die Studierenden meinen.

D3 „es hängt vom pH-Wert ab“, „Ab einem gewissen pH-Wert kann man ätzend sagen, pH-Wert 2.“

Der pH-Wert ist als Begründung zu vage, da man nicht erkennen kann, ob damit die Oxoniumionenkonzentration in wässriger Lösung gemeint war, oder auch andere Vorstellungen verbunden werden.

D4. Begründungen, deren Gedankengang man aufgrund der Wortwahl und dem Satzbau nicht nachverfolgen kann.

„Zumindest der Vorteil.“ „Definition ist unklar.“ „Tendenz H⁺-Ionen aufzunehmen ist ätzend.“ „Das ist nur SuS-Vorstellung.“ „Eigenschaften Def. Von Säuren“. „Der Begriff Säure nach Brønsted hat mehr Umfang.“ „Die Reaktion ist ätzend“

D5 Begründungen, die uneindeutige Begrifflichkeiten beinhalten.

„es hängt von der Ionisierungskraft/Ionisation ab“, „der Schutzmantel (der Haut) wird angegriffen“, „es braucht einen Reaktionspunkt“, „das passiert nur in einem Bezugssystem“, „sind oft nur reizend“, „das hängt von der Konjugation ab“, „die Korrosivität ist schuld“

Bei diesen Begriffen und Phrasen kann man nur vermuten, was genau beabsichtigt und gemeint wurde und somit gelten diese als unklar.

2.4.4.6. (E) „Ich weiß es nicht“

Studierende begründen ihre Wahl mit folgenden Phrasen.

E1 *„Ich weiß es nicht“, „???“, „Ich vermute es“*

2.4.5. 7. „Basen schmecken seifig“

2.4.5.1. Musterbegründung

Mit dieser Aussage bezieht man sich auf das historische Konzept der Einteilung von Stoffen nach ihrem Geschmack. Die Beschreibung des seifigen Geschmacks hat sich als Beschreibung der Eigenschaften basischer Lösungen bis heute in der Lehre gehalten. Dementsprechend wird hier eine Musterbegründung für diese Aussage formuliert, die auf die zentralen Aspekte eingeht.

Musterbegründung 1

Man müsste von basischen Lösungen sprechen und nicht von Basen. Diese Aussage ist ein geschichtliches Konzept, jedoch sind Geschmacksproben heutzutage im Labor generell verboten. Basische Lösungen können nicht nach dem Geschmack eingeteilt werden.

2.4.5.2. (A) Fachlich angemessene Begründungen

Die folgenden Aussagen werden als fachlich angemessen angesehen. Sie entsprechen der Musterbegründung bzw. mehreren Teilgebieten dieser.

A1 *„Das ist ein geschichtliches Konzept, aber Geschmacksproben sind verboten“*

A2 *„Basen sind nicht nach dem Geschmack einteilbar und Geschmacksproben sind verboten“*

A3 *„in wässrigen/basischen Lösungen, aber Geschmacksproben sind verboten“*

2.4.5.3. (B) Fachlich unangemessene Begründungen

Die folgenden Begründungen sind als fachlich unangemessen einzustufen.

B1 *„nicht alle“, „können, müssen aber nicht“, „Verallgemeinerung*

Falls nur mit diesen Phrasen begründet werden diese als unangemessen eingestuft, da dadurch Geschmacksproben nicht eindeutig abgelehnt werden.

B2 Begründungen, die sich auf den Geschmack beziehen.

B2.1 *„Ja es schmeckt so.“*

B2.2 *„Der Geschmack ist so experimentell beweisbar.“*

B2.3 *„Der Geschmack ist subjektiv.“*

B2.4 *„Zusätze in den Seifen schmecken basisch.“*

B2.5 *„Die Salze der Basen schmecken seifig“, „Seife ist das Salz der Base“*

B2.6 *„Nicht nur Basen schmecken so, auch Säuren“*

Begründungen, die sich darauf beziehen, dass es einfach so schmeckt, Geschmack subjektiv oder experimentell beweisbar ist, nicht die Base sondern Zusätze in der Seife/die Salze der Basen seifig schmecken sind fachlich unangemessen, da sie entweder fachlich grundlegend nicht korrekt sind, oder nicht den Anforderungen einer

chemischen Begründung entsprechen. Zusätzlich werden mit diesen Begründungen Geschmacksproben nicht explizit abgelehnt, sondern rufen fast dazu auf.

B3 *„Basen haben nichts mit Seifen zu tun“*

Basische Lösungen werden in der Seifenherstellung verwendet und viele Seifen können als Basen wirken und daher ist diese Begründung inhaltlich und fachlich unangemessen.

B4 *„es hängt von der Stärke der Base ab“*

B5 *„es hängt von der Konzentration ab“*

B6 *„in basischen/wässrigen Lösungen“*

Falls mit diesen Phrasen begründet wird, werden diese als unangemessen eingestuft, da dadurch Geschmacksproben nicht eindeutig abgelehnt werden. Die Begründungen B4, B5 und B6 sind auch in Kombination miteinander aus diesem Grund unangemessen, obwohl sie nur in Kombination fachlich korrekt wären. (Siehe Musterbegründung zu „Säuren sind ätzend“, Punkt 2.4.4.1.)

2.4.5.4. (C) Nicht genügend Aussagekraft

Begründungen, die allein betrachtet nicht genügend Aussagekraft haben.

C1 *„Es handelt sich um ein geschichtliches Konzept“*

Der zweite wichtige Aspekt der Musterbegründung, nämlich dass Geschmacksproben verboten sind, wird nicht genannt.

C2 *„Geschmacksproben sind verboten“, „Man sollte nicht kosten“*

Die definitive Absage gegen Geschmacksproben sagt allein noch nichts über die Vorstellungen der Studierenden zur Aussage „Basen schmecken seifig“ aus. Es wird lediglich ein Sicherheitshinweis gegeben.

C3 Diese Aussage *„ist eine SuS-Vorstellung (Schüler*innen)“*

Es werden keine Teilaspekte der Musterbegründung genannt. Alle Aussagen auf dem Fragebogen sind Lernendenvorstellungen, jedoch wird nicht weiter argumentiert, was an dieser Aussage unangemessen ist.

C4 *„Basen können nicht nach dem Geschmack eingeteilt werden“, „Hat nichts mit dem Geschmack zu tun“*

Es wird keiner der beiden zentralen Aspekte der Musterbegründung genannt.

2.4.5.5. (D) Unklare Begründungen

Die folgenden Begründungen sind als „unklar“ einzustufen.

D1 Inhaltlich korrekte Aussagen, die sich aber nicht auf die Fragestellung beziehen

D1.1 *„Seifen können als Basen wirken“*

Ja viele Seifen können in wässrigen Lösungen als Basen wirken, jedoch ist hier zu wenig Information enthalten.

D1.2 *„ein Teilchen hat keinen Geschmack“*

Ein einziges Teilchen hat weder Farbe, Geruch oder Geschmack, denn erst in großer Teilchenanzahl sind diese für die makroskopischen Eigenschaften verantwortlich.

D1.3 *„Basen verseifen Fette“, „Basen werden in der Seifenherstellung verwendet“*

D1.4 *„es gibt andere Merkmale, riechen stechend, fühlen sich seifig an“*

D1.5 *„Seife ist nicht gleich Base“, „Base ist nicht gleich Seife“, „Seifen sind Basen“*

D1.6 *„Befinden uns im Brönsted-Konzept“, „Basen sind Protonenakzeptoren“*

D1.7 *„Verseifung ist Gegenteil von Veresterung“*

D1.8 *„Wasser kann auch basisch sein“*

D1.9 *„OH-Ionen sind für die seifigen Eigenschaften verantwortlich“*

D2 „Die Fragestellung ist zu vage“

Manchen Studierenden war die Aussage zu vage formuliert, sind dabei aber nicht auf die genauen Teile eingegangen, die sie an einer Bewertung hinderten und so würde man nur raten können.

D3 Begründungen deren Gedankengang nicht eindeutig nachvollzogen werden kann.

D3.1 durch uneindeutige Begriffe oder Phrasierungen

„Basi“, „kein Nebeneffekt“, „ist keine Geschmacksrichtung“, „Begriff nach Brönsted hat mehr Umfang“, „Laugenstangerl“, „pH-Wert“, „OH-Gruppe“, „OH-Reste wirken seifig“

„sind befähigt Seifen auszubilden“ „durch Zerstören eines Feststoffes verursachen seifiges Gefühl“, „kann man verseifen“,

„Seife schmeckt seifig“, „man soll vom Begriff seifig abkommen“

D4 „Es hängt von der Art der Base ab“

Es ist unklar was mit der „Art“ der Base gemeint ist.

2.4.5.6. (E) „Ich weiß es nicht“

E1.1 *„Ich weiß es nicht“, „???“*

E1.2 *„Ich habe noch nie gekostet“,*

Die Studierenden geben an, dass sie nicht wissen, wie ‚Basen‘ schmecken.

E2 *„Wonach schmeckt Seife?“, „schmeckt jede Base gleich?“,*

Einige Studierende begründeten mit einer Frage ihrerseits und solche Begründungen sind ebenfalls unter die Kategorie (E) zu subsumieren.

E3 *„Woher soll ich denn wissen wie die Geschmacksknospen funktionieren bzw. mit OH⁻-Ionen reagieren“*

2.4.6. 8. Metall mit Säure, Bildung von Wasserstoff und Salz

„Unedle Metalle reagieren mit Säuren unter Bildung von Wasserstoff und Salz. Das Metall wirkt in diesem Fall als Base“

2.4.6.1. Musterbegründung

In der folgenden Musterbegründung werden die beiden Hauptaspekte fachlich angemessen dargestellt.

Musterbegründung 1:

„Bei dieser Reaktion handelt es sich um eine Redoxreaktion und keine Säure-Base-Reaktion. Die Ionen des Salzes bleiben meist in Lösung“

Folgend wird ein Versuch unternommen alle Teilaspekte der Aussage zu bewerten. Es wird jedoch nicht erwartet, dass die Studierenden auf alle Teilbereiche eingehen.

Musterbegründung 2:

„Es handelt sich um eine Redoxreaktion und nicht um eine Säure-Base-Reaktion. Die Oxoniumionen reagieren als Oxidationsmittel und oxidieren die an der Metalloberfläche gelegenen unedlen Metallatome. Dabei werden die Oxoniumionen selbst reduziert zu Wasserstoffmolekülen und Wassermolekülen. Es wird also Wasserstoff gebildet. Salz hingegen wird nur sehr selten gebildet, denn die Ionen bleiben meist in Lösung. Es gibt jedoch Fälle, in denen ein schwerlösliches Salz ausfällt.“

2.4.6.2. (A) Fachlich angemessenen Aussagen/Begründungen

Die folgenden Aussagen werden als fachlich angemessen angesehen. Sie beziehen sich auf die beiden formulierten Teilgebiete der Musterbegründung 1.

A1 Beide Teilgebiete der Musterbegründung 1 wurden erkannt.

„Bei dieser Reaktion handelt es sich um eine Redoxreaktion und keine Säure-Base-Reaktion. Die Ionen des Salzes bleiben meist in Lösung“

A2 Nur Teil 1 der Musterbegründung wurde erkannt:

„Bei dieser Reaktion handelt es sich um eine Redoxreaktion und nicht um eine Säure-Base-Reaktion.“

Dies ist der essentielle Aspekt der Musterbegründung und wird daher auch für sich selbst stehend als angemessen angesehen.

2.4.6.3. (B) Fachlich unangemessene Begründungen

Die folgenden Begründungen sind als fachlich unangemessen einzustufen.

B1 *„Das ist nicht immer der Fall.“*

Mit Begründungen dieser Art nehmen wir an, dass die Studierenden nicht auf Spezialfälle der Passivierung von Metallen anspielen.

B2 *„Wenn das Metall als Base reagieren würde, müsste automatisch eine Neutralisationsreaktion einsetzen.“*

Wie unter Punkt 1.3.4. erklärt, handelt es sich bei der Neutralisationsreaktion um die Reaktion von Oxonium- und Hydroxidionen zu Wassermolekülen. Metallatome können also nicht an der Neutralisationsreaktion teilnehmen.

B3 *„Es wird Salz gebildet.“*

Salz als Festkörper wird meistens nicht gebildet, denn die Ionen bleiben in Lösung. Nur in sehr seltenen Fällen sind schwerlösliche Salze involviert, und diese können unter Umständen als festes Salz ausfallen.

B4 *„Wasserstoff ...“*

B4.1 *„... wird frei von der Säure“*

B4.2 *„... kommt vom Wasser“*

B4.3 *„... wird nicht immer gebildet“*

Der gebildete Wasserstoff stammt aus der Redoxreaktion von Oxoniumionen und dem unedlen Metall und daher sind diese Aussagen fachlich unangemessen. Bei der Aussage B4.3 gehen wir gemäß B1 davon aus, dass die Studierenden nicht die Passivierung von Metallen meinen.

B5 „Es kommt auf die Säure an.“

Da es sich hier um keine Säure-Base-Reaktion, sondern um eine Redoxreaktion handelt hängt es nicht von der Art der Säure ab. In jeder sauren Lösung liegen Oxoniumionen vor und diese reagieren mit den Metallatomen.

B6 „Das Metall ...“

B6.1 „reagiert als Base, nimmt ein Proton auf“, „gibt Elektronenpaar ab“

B6.2 „reagiert als Säure“, „gibt Protonen ab“, „nimmt Elektronenpaar auf“

B6.3 „wird reduziert“, „wirkt als Oxidationsmittel“.

B6.4 „reagiert als Base, da Säure konjugierte Base braucht.“

Das Metall reagiert weder als Säure noch als Base. Es gibt zwar Fälle in denen Metalle Wasserstoffatome binden und dabei zu Metallhydriden werden, dies ist aber wieder eine andere Reaktionsart und hat nichts mit Säure-Base-Reaktionen zu tun.

Auch das Modell nach Lewis trifft nicht auf diese Reaktion zu. Das Metall wird in der Redoxreaktion auch nicht reduziert, sondern oxidiert, gibt also Elektronen ab und wirkt als Reduktionsmittel. B6.4 bezieht sich auf das konjugierte Säure-Base-Paar. Bei dieser Reaktion handelt es sich, wie schon mehrfach erwähnt, um keine Säure-Base-Reaktion und daher reagiert das Metall auch nicht als Base.

B7 „Die Säure katalysiert die Reaktion.“

Katalyse würde wiederum bedeuten, einen Prozess, der auch ohne die Säure ablaufen würde zu beschleunigen, während der Katalysator selbst nicht verbraucht wird. Dies ist aber bei dieser Reaktion beides nicht der Fall.

2.4.6.4. (C) Nicht genügend Aussagekraft

C1 Teil 2 der Musterbegründung wurde erkannt:

„Es wird kein festes Salz gebildet. Die Ionen bleiben in Lösung.“

Diese Begründung ist zwar fachlich korrekt, jedoch wurde der zentrale Aspekt, nämlich dass es sich bei dieser Reaktion um eine Redoxreaktion handelt, nicht erkannt/erwähnt. Außerdem gibt es auch Reaktionen, bei denen sehr wohl ein schwerlösliches Salz ausfällt. Es wird aber von den Studierenden nicht verlangt, auf dieses Detail einzugehen und daher wird die Aussage „es wird kein bzw. selten festes Salz gebildet“ gleichermaßen akzeptiert.

C2 „Das Metall ...“

C2.1. „... reagiert nicht als Base“, „kann nicht als Base reagieren“, „nimmt kein Proton auf.“

C2.2 „... gibt Elektronen ab“

C2.3 „... reagiert mit H^+/H_3O^+ “

Aufgrund der geringen Aussagekraft lässt sich nicht erkennen, ob die Vorstellungen der Studierenden angemessener oder unangemessener Natur sind.

C3 „Wasserstoff wird gebildet“

Das ist in der Reaktion von unedlen Metallen mit sauren Lösungen fachlich vollkommen korrekt, jedoch gibt es uns keine Auskunft darüber, ob die Reaktion als Redoxreaktion verstanden wurde, bzw. ob die Salzbildung übersehen oder ebenfalls als fachlich angemessen angesehen wird. Es ist somit nur eine Wiederholung eines Teils der Aussage und gibt keinen weiteren Aufschluss über die vorhandenen Vorstellungen.

C4 „... es handelt sich nicht um eine Säure-Base-Reaktion.“

Wenn diese Begründung für sich alleinsteht, kann man nicht erkennen, ob die Reaktion als Redoxreaktion erkannt wurde, oder die Studierenden eine andere Verbindung mit dieser Aussage hergestellt haben.

C5 „... es handelt sich um eine Elektronenübertragung“

Es kommt nicht heraus, ob die Person sich auf Elektronenübertragungen bei Redoxreaktionen oder dem Modell nach Lewis bezieht.

2.4.6.5. (D) Unklare Aussagen/Begründungen

Die folgenden Begründungen sind als unklar einzustufen.

D1 fachlich angemessene Aussagen, die sich aber nicht auf die Aussage beziehen.

D1.1 *„in wässriger Lösung“*

Da nur mit dieser Phrase begründet wurde, kann man nicht erkennen, ob auf die Salzbildung oder eine Säure-Base-Reaktion, bezüglich des Metalls und Säure, angespielt wird.

D1.2 *„Eine Base ist ein Protonenakzeptor“*

D1.3 *„Eine Säure-Base-Reaktion benötigt ein konjugiertes Säure-Base-Paar“*

D1.4 *„Eine Säure ist ein Protonendonator“*

D2 *„Die Fragestellung ist zu vage“*

Welcher Teil der Fragestellung gemeint ist, lässt sich nicht herausfinden.

D3 Begründungen, die uneindeutige Begrifflichkeiten verwenden.

„Der Begriff Salz ist problematisch“, „OH⁻ - Akzeptor, nicht donator“, „Es entsteht ein Metallhydroxid“, „Metalle können als Kationen wirken“, „Elektrochem. Spannungsreihe“

D4 Aufgrund der Phrasierung unklare Begründungen.

„Das ist durch Versuche beobachtbar“, „Säure+Base“, „Sie bilden den Wasserstoff, dadurch zählen sie zu den Donatoren“, „Reagieren als Metall nicht als Base“,

„Weil auch Nicht-Metalle basisch sein können“, „Sie reagieren zu Teilchen“, „Baseteilchen wirkt als Base“, „Weil mit Säureteilchen reagieren“, „Wasserstoff wäre explosiv“.

2.4.6.6. (E) „Ich weiß es nicht“

E1 *„Ich weiß es nicht“, „???“*

Die Studierenden geben keine fachliche Information in der Begründung an.

2.4.7. 9. Neutralisationsreaktion, Bildung Wasser und Salz

„Bei der Neutralisationsreaktion reagieren Säure und Base unter Bildung von Wasserstoff und Salz“

2.4.7.1. Musterbegründung

Mit dem spezifischen Blick auf die verschiedenen Sprachebenen wurde für diese Aussage folgende Musterbegründung verfasst.

Musterbegründung 1

In der Neutralisationsreaktion reagieren Oxoniumionen und Hydroxidionen zu Wassermolekülen. Es wird meist kein festes Salz gebildet, die Ionen bleiben in Lösung. Die Neutralisationsreaktion findet immer in wässrigem Milieu statt.

2.4.7.2. (A) Fachlich angemessene Begründungen

Die folgenden Begründungen werden als fachlich angemessen angesehen.

Diese Begründungen entsprechen den beiden zentralen Teilgebieten der Musterbegründung.

A1 „Oxoniumionen und Hydroxidionen reagieren zu Wassermolekülen. Es wird meist kein festes Salz gebildet“

A2 „Es wird Wasser gebildet und es wird meist kein festes Salz gebildet“

2.4.7.3. (B) Fachlich unangemessene Begründungen

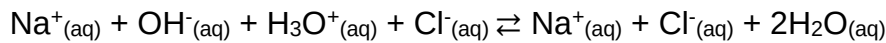
Die folgenden Aussagen sind als fachlich unangemessen einzustufen.

B1 uneindeutige Reaktionsgleichungen



Mit dieser Schreibweise werden mehrere Ungenauigkeiten gefördert. Gasförmiger Chlorwasserstoff würde nicht mit Natriumhydroxid reagieren. Es reagieren die in wässriger Lösung gebildeten Oxonium- und Hydroxidionen zu Wassermolekülen. Diese

kommen in dieser Reaktionsgleichung aber nicht vor. Die Schreibweise „NaCl“ impliziert ebenfalls, dass die Ionen zu einem festen Salz reagieren. Alle Ionen liegen aber aquatisiert (aq) vor und gehen nur im Falle von schwerlöslichen Salzen Ionenbindungen zu festem Salz ein. Die Reaktionsgleichung müsste also vereindeutigt werden:



B1.2. „ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$ “

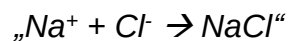
Diese Reaktionsgleichung beschreibt die Reaktion von Wasserstoffmolekülen mit Sauerstoffmolekülen unter Bildung von Wassermolekülen. Das hat nichts mit der Neutralisationsreaktion zu tun.

B1.3. „ $\text{HCl} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$ “

Die Gase Chlorwasserstoff und Ammoniak reagieren in der Gasphase zu festem Ammoniumchlorid. Es handelt sich hier aber um keine Neutralisationsreaktion, da in der Gasphase kein Wasser gebildet wird.

B2 „Salz ...“

B2.1. „... wird gebildet durch Säurerest und Baserest/Ionen.“



B2.2. ... „wird gebildet, geht aber gleich wieder in Lösung“

Salz als Feststoff wird nur in sehr seltenen Fällen gebildet, da die Ionen aquatisiert in wässriger Lösung vorliegen. Bei B2.2. hingegen spricht man davon, dass immer kurz ein Salz gebildet wird und das ist fachlich nicht korrekt.

B3 „Nicht bei allen NR (Neutralisationsreaktionen) wird Wasser gebildet“

Die Reaktion von Oxoniumionen und Hydroxidionen zu Wassermolekülen ist ja gerade die Neutralisationsreaktion. Wer also in dieser Weise argumentiert, hat die elementare Reaktion dahinter nicht verstanden.

B4 „Der pH-Wert ...“

B4.1 „... der Salze ist neutral“

B4.2. „... wird von Salzen beeinflusst“

Der pH-Wert wird durch die Anwesenheit anderer Ionen nicht beeinflusst, da nur die Aktivität der Oxoniumionen (pH-Wert) bzw. Hydroxidionen (pOH-Wert) gemessen wird.

B4.3. „... der Lösung beeinflusst die Neutralisationsreaktion“

Die Neutralisationsreaktion wird auch durch die Konzentration aller vorliegenden Ionen nicht beeinflusst. Solange Hydroxidionen mit Oxoniumionen räumlich aufeinandertreffen können, findet die Neutralisationsreaktion statt.

B4.4. „... der Lösung ist gleich Sieben“

Der pH-Wert einer Lösung ist nicht automatisch nach einer Neutralisationsreaktion „neutral“. Dafür müssen moläquivalente Mengen an Oxonium- und Hydroxidionen miteinander reagieren. (siehe Aussage Zehn)

B5 „es wird Wasser gebildet“

Mit solchen Begründungen wiederholt man nur einen Teil der Aussage und damit erkennt man die zentralen Aspekte nicht.

B6 „es kommt auf das Konzept drauf an.“

Bei Arrhenius, Brønsted und Lewis wird die Neutralisationsreaktion in wässriger Lösung als die Reaktion von Protonen/Oxoniumionen mit Hydroxidionen zu Wassermolekülen beschrieben.

B7 „es kommt auf die Art der Säure und Base an.“

Da in wässriger Lösung alle Säuren Oxoniumionen und Basen, in der Protonenübertragung mit Wassermolekülen, Hydroxidionen bilden, kommt es eben nicht auf die Art der Säure bzw. Base an.

B8 „Wasserstoff bildet sich nur bei Wasserstoffsäuren“,

Diese Begründung ist in zweifacher Weise unangemessen. Erstens bildet sich der Wasserstoff in der Disproportionierungsreaktion der Oxoniumionen und hat somit nichts mit „Wasserstoffsäuren“ zu tun. Zweitens ist die Wasserstoffbildung keiner der beiden zentralen Aspekte der Aussage und wie genau dieser gebildet wird, wird auch nicht erfragt.

B9 „die Neutralisationsreaktion ist nur die Autoprotolyse des Wassers“

$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$. Die Autoprotolyse ist sozusagen die Rückreaktion der Neutralisationsreaktion. Bei der Neutralisationsreaktion liegen die Ionen als Ausgangsstoffe in der Lösung vor. Die Autoprotolyse des Wassers findet immer gemeinsam mit der Neutralisationsreaktion statt und daher kann man diese beiden nicht einfach voneinander abgrenzen bzw. unter der Rückreaktion zusammenfassen.

B10 „nur wenn Säure und Base in gleicher Konzentration vorhanden sind, findet eine Neutralisationsreaktion statt“,

Auch bei unterschiedlicher Konzentration an ‚Säure‘ und ‚Base‘ findet die Neutralisationsreaktion statt.

B11 „Gibt auch andere Neutralisationen“,

Die Neutralisationsreaktion ist immer die Reaktion von Oxonium- und Hydroxidionen zu Wassermolekülen in wässrigem Milieu.

2.4.7.4. (C) Nicht genügend Aussagekraft

Fachlich angemessene Aussagen, die für sich allein betrachtet nicht genügend Aussagekraft haben. Der zentrale Aspekt, die Reaktion von Hydroxidionen und Oxoniumionen wird vernachlässigt.

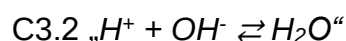
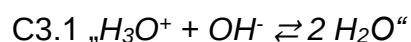
C1 „In wässriger Lösung“

Nur in wässriger Lösung werden die bei der Neutralisationsreaktion benötigten Reaktionspartner gebildet.

C2 „Salz wird meistens nicht gebildet“, „die Ionen bleiben in Lösung“

Das ist zwar fachlich angemessen, jedoch nicht der zentrale Aspekt bei einer Neutralisationsreaktion.

C3 Bei der Neutralisationsreaktion reagieren:



Es wird hiermit nur die Bildung von Wassermolekülen beschrieben. Die „Salzbildung“ wird jedoch nicht erwähnt und ohne einen erklärenden Satz dazu haben diese Begründungen zu wenig Aussagekraft.

2.4.7.5. (D) Unklare Begründungen

Die folgenden Begründungen sind als unklar einzustufen.

D1 fachlich angemessene Aussagen, die sich aber nicht auf die Fragestellung beziehen.

D1.1 *„Die Salzbildung steht nicht im Mittelpunkt“*

Die Wasserbildung steht im Mittelpunkt.

D1.2. *„Bei der Neutralisationsreaktion ist der pH-Wert nicht automatisch neutral.“*

Bei der neunten Aussage wird nicht auf den neutralen pH-Wert angespielt.

D1.3 *„Ohne wässrige Lösung entsteht Salz, Bsp. $\text{HCl} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$ “*

Die Neutralisationsreaktion findet immer in wässrigem Milieu statt und somit ist die angegebene Reaktion, bei der Moleküle in der Gasphase miteinander reagieren, keine Neutralisationsreaktion.

D1.4 *„Nicht alle Basen müssen Sauerstoff enthalten“*

D1.5 *„Säure = Protonendonator, Base = Protonenakzeptor“,
„es finden Protonenübertragungen statt“*

D1.6 *„Es findet auch Rückreaktion statt“*

Bei der Neutralisationsreaktion stellt sich allmählich ein Gleichgewicht zwischen Hin- und Rückreaktion ein.

D1.7 *„Diese Aussage ist der Grundsatz, der in der Schule so gelehrt wird.“*

Die neunte Aussage wird in der Schule als vereinfachter Merkspruch verwendet.

D1.8 „Säure wird zur korrespondierenden Base und Base wird zur korrespondierenden Säure“

D1.9 „Die Ebenen sollen nicht vermischt werden“

D1.10 „Nicht alle Säuren müssen Wasserstoff enthalten“

Diese Aussage bezieht sich auf Säure-Base-Reaktionen und ist eine Neuerung nach dem Lewis-Modell. Sie bezieht sich aber nicht auf Neutralisationsreaktionen.

D1.11 „In NH_3 kommt kein O vor.“

D2 Aussagen, bei denen nicht klar ist, ob die Salz- oder Wasserbildung gemeint ist.

D2.1 „Salz und Wasser wird nur ganz selten gebildet“

D2.2 „Es kann so ablaufen, muss aber nicht“, „nicht immer“

D2.3 „Das ist kein bestimmendes Merkmal für Neutralisation“

D2.4. „Die Fragestellung ist zu vage“

Es wird nicht klar, ob sich die Studierenden hier an der „Salzbildung“ oder an der Reaktion zu Wasser stoßen.

D3 Begründungen, die uneindeutige Begrifflichkeiten verwenden.

„Rein mechanischer Vorgang der Salzbildung“, „Bildung Salz und Wasser ist nur Nebeneffekt“, „Auflösung der Elemente und neue Zusammensetzung“

„Donator-Akzeptor-Prinzip“, „Spezialfälle sind die Ausnahme“, „Kation der Base bindet an Säure“, „Protolyse“, „Protonen finden sich zu Wasser“

D4 Aufgrund der Phrasierung unklare Begründungen.

„Weil es neutralisiert wird“, „Ist nach Brönsted so definiert“, „Das OH^- der Base“,

2.4.7.6. (E) „Ich weiß es nicht“

E1 „Ich weiß es nicht“, „???“, „keine Ahnung“

Die Studierenden geben keine fachliche Information in der Begründung an.

E2 „laut dem Seminar ist diese Aussage falsch, das kam aber nicht rüber“

Diese Person konnte die im Seminar „Einführung in die Didaktik der Chemie“ gelieferte Erklärung nicht nachvollziehen.

2.4.8. 10. Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7

„Wenn bei der Neutralisationsreaktion gleiche Mengen an Säure und Base reagieren, ist der pH-Wert der Lösung gleich 7.“

2.4.8.1. Musterbegründung

Bei der zehnten Aussage geht es darum, den Begriff „Menge“ als fachlich unangemessen zu erkennen und die Studierenden müssen zusätzlich erkennen, dass bei einem pH-Wert 7 exakt gleich viele Hydroxid- wie Oxoniumionen in der Lösung vorhanden sein müssen, die in der Neutralisationsreaktion zu Wassermolekülen reagieren können.

Musterbegründung 1

Eine exakt gleiche Anzahl an Oxonium- und Hydroxidionen muss vorhanden sein.

Dies bezeichnet man auch als „moläquivalente Menge“. Bei dem pH-Wert 7 liegen aber nicht nur Wassermoleküle vor, sondern der Definition des pH-Werts nach jeweils auch 10^{-7} Oxonium- und Hydroxidionen pro Liter Wasser. Dies ist der Autoprotolyse des Wassers geschuldet.

Die Studierenden können aber auch einen umständlicheren Weg der Begründung gehen und beschreiben, wovon eine moläquivalente Menge abhängig ist.

Musterbegründung 2

Um eine Aussage zum pH-Wert treffen zu können, müssen die Stärke der Säure und Base, die Konzentrationen und das jeweils eingesetzte Volumen der sauren und basischen Lösungen bekannt sein.

Bei einem Überschuss einer der beiden Ionensorten wäre der pH-Wert nicht mehr 7, sondern im sauren oder basischen Bereich.

2.4.8.2. (A) Fachlich angemessene Aussagen/Begründungen

Die folgenden Aussagen werden als fachlich angemessen angesehen und sie entsprechen den Musterbegründungen.

A1 Für einen pH-Wert von 7 ...

A1.1 „... benötigt man die gleiche Anzahl an reagierenden Teilchen. Diese Teilchen sind Oxonium- (H_3O^+) und Hydroxidionen (OH^-).“

A1.2 „benötigt man eine moläquivalente Menge an Oxonium- und Hydroxidionen.“

A2 „Um eine Aussage zum pH-Wert treffen zu können, müssen die Stärke der Säure und Base (C2), die Konzentrationen (C1) und das jeweils eingesetzte Volumen (C3) der sauren und basischen Lösungen (C4) bekannt sein.“

A3 „Gleiche Menge sind nicht gleich viele Teilchen“

2.4.8.3. (B) Fachlich unangemessene Aussagen/Begründungen

Die folgenden Aussagen sind als fachlich unangemessen einzustufen.

B1 „Es hängt nicht von der Menge/Stoffmenge ab.“

Die Anzahl der gebildeten Ionen hängt von der Stoffmenge ab und die Anzahl der eingesetzten Teilchen hängt von dem Volumen der eingesetzten Lösung ab.

B2 „Es hängt von den gebildeten Ionen der Salze ab“

Wie schon mehrfach ausgeführt, haben die Säure- und Basereste keinen Einfluss auf den pH-Wert, da dieser nur die Aktivität/Konzentration der Oxoniumionen angibt.

B3 „Es hängt von der Protonenzahl der Säure ab“, „Wertigkeit“

Die Stärke einer Säure, also die Wahrscheinlichkeit mit der Protonen abgegeben werden, hängt nicht mit der Anzahl der gebundenen Wasserstoffatome im Säureteilchen zusammen.

B4 Der pH-Wert ...

B4.1 ... wird mit Salzen in Verbindung gebracht,

B4.2 „... ist 7 wenn die Neutralisationsreaktion vollständig abläuft“

B4.3 ... wird nur mit den Oxoniumionen in Verbindung gebracht.

B4.4 „... hängt nicht von der Konzentration ab“

Der pH-Wert ist nur bei der Reaktion äquimolarer Mengen an Oxonium- und Hydroxidionen Sieben.

B5 „Gleiche Menge bedeutet gleiche Anzahl an Teilchen“

Der Begriff „Menge“ ist für diese Aussage zu uneindeutig.

B6 „Es entsteht eine Pufferlösung.“

Bei der Neutralisationsreaktion entstehen keine Pufferlösungen.

2.4.8.4. (C) Nicht genügend Aussagekraft

Fachlich angemessene Aussagen, die für sich allein betrachtet nicht genügend Aussagekraft haben.

C1 „Es hängt von der/n Konzentration/en ab“

C2 „Es hängt von der Stärke der Säure und Base ab“

C3 „Es hängt von der eingesetzten Menge (in Liter, Milliliter...) ab“.

C4 „in wässrigen Lösungen“

Diese Begründungen bestehen aus den Teilgebieten der Musterbegründung A2 und lassen für sich alleinstehend keine Schlüsse über die fachliche Angemessenheit der Vorstellung der Studierenden zu. Wäre nur die Konzentration einer Lösung bekannt, könnte man keine Aussage über die Anzahl der gebildeten Oxonium- bzw. Hydroxidionen treffen, da man die Stärke dieser Teilchen nicht kennt und umgekehrt, würde man nur die Stärke der Teilchen kennen, wüsste man zwar, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Protonenübertragungen stattfinden, jedoch nicht, wie viele Teilchen vorliegen, die dies tun können. Die Begründung C3 ist ebenfalls nicht ausreichend, da zwar erkannt wurde, dass die Menge der zugesetzten Lösungen eine Rolle spielt, jedoch ist der Begriff Menge zu weit gefasst und man müsste diesen spezifizieren. Die Neutralisationsreaktion läuft immer in wässrigem Milieu ab (C4), da ja auch Wassermoleküle

gebildet werden. Die Begründungen C1, C2, C3 (und C4) wäre angemessener Natur. Alle anderen Kombinationen sind nicht aussagekräftig genug.

C5 „Es hängt von den pH-Werten der eingesetzten Lösungen ab.“

Der pH-Wert beschreibt die Konzentrationen der für die Neutralisationsreaktion wichtigen Teilchen, umgeht somit die Stärke der Säure und Base (C2), sowie die Konzentrationen (C1) der Lösungen (C4). Es fehlt jedoch die Angabe der Mengen (C3) und was darunter verstanden wird.

2.4.8.5. (D) Unklare Aussagen/Begründungen

Die folgenden Aussagen sind als unklare Aussagen einzustufen.

D1 fachlich angemessene Aussagen, die sich jedoch nicht auf die Fragestellung beziehen, bzw. keine Information darüber liefern, wovon ein neutraler pH-Wert abhängt.

D1.1 „pH-Wert = 7 = neutral“

Der pH-Wert 7 wird als neutraler Wert bezeichnet.

D1.2 „Der pH-Wert ist definiert als der negative dekadische Logarithmus der H_3O^+ -Ionenkonzentration“

Das ist die allgemeine Definition des pH-Wertes.

D1.3 „Es hängt von verschiedenen Faktoren ab.“

Welche Faktoren damit gemeint sind, entzieht sich der Aussagekraft dieser Begründung.

D2 Die Fragestellung wird als Problem angesehen

D2.1 „Menge ist ein komischer Begriff.“ „Was ist Menge?“

D3 Begründungen, die uneindeutige Begrifflichkeiten verwenden.

D3.1 „Das Reaktionsverhältnis muss 1:1 betragen“

D3.2 „Man muss die Stöchiometrie berücksichtigen.“

D3.3. „konjugierte Stärke der Säure und Base“

D4 Begründungen, die aufgrund der Phrasierung keinen Gedankengang erkennen lassen. C2.7 Es wird neutraler

D4.1 „Säure- und Baseteilchen reagieren.“

D4.2 „Neutralisationspunkt muss nicht 7 sein“, „kann auch oberhalb oder unterhalb 7 liegen“

D4.3. „Nur weil gleiche Menge bedeutet nicht, dass sich Säure und Base auch neutralisieren.“

D4.4. „Weil Wasser entsteht und das hat pH-7“

D4.5. „Es handelt sich um eine Verallgemeinerung“

D5 „Es hängt von der Art der Säure und/oder Base ab.“

Es kommt nicht klar heraus, ob mit der „Art der Säure“ starke oder schwache Säuren/Basen gemeint sind. Dies hätte sehr wohl einen Einfluss auf den pH-Wert. Jedoch wird die „Stärke“ nicht explizit erwähnt.

2.4.8.6. (E) „Ich weiß es nicht“

E1 „Ich weiß es nicht“, „???“, „keine Ahnung“

Die Studierenden geben keine fachliche Information in der Begründung an.

E2 „Eventuell ist von dem einem mehr notwendig“

3. Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgt in drei Schritten. Zuerst werden die gegebenen Bewertungen der Aussagen „richtig“, „nicht richtig“ oder „keine Angabe“ tabellarisch dargestellt. Anschließend wird analog dazu eine Übersicht zu den Bewertungen und Begründungen ab dem Zeitraum WS2016/17, sowohl „vorher“ als auch „nachher“, erstellt. In einem dritten Schritt werden die gegebenen Begründungen und ihre Ausprägung in den fünf Hauptkategorien dargestellt. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Veränderung „vorher“ zu „nachher“ gelegt.

3.1. Bewertung der Aussagen durch die Studierenden

3.1.1. Bewertungen „Vorher“ im Zeitraum 2013-2016

In diesem Zeitraum wurden die Fragebögen ausschließlich als Gesprächsanlass zu den Vorstellungen der Studierenden zum Thema ‚Säuren und Basen‘ eingesetzt und von 147 Studierenden ausgefüllt. Es wurde nicht nach Begründungen für die Einschätzungen gefragt. Bei allen fünf Aussagen wäre es fachlich angemessen, dass die Studierenden „nicht richtig“ ankreuzen.

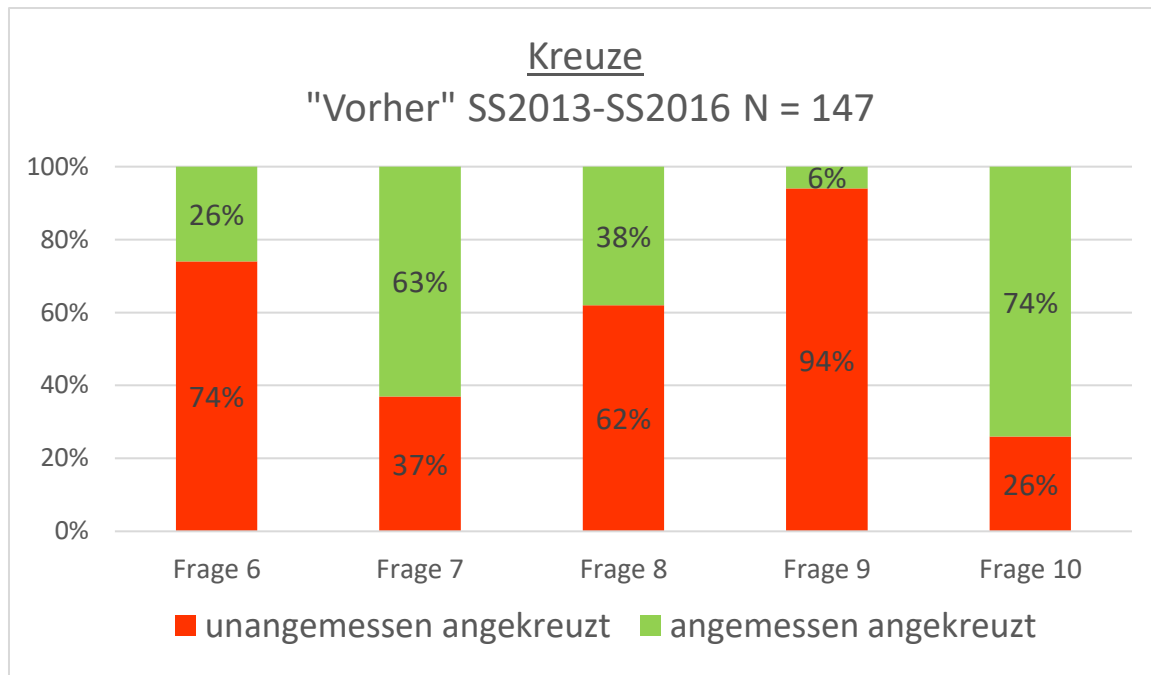


Abbildung 11: Kreuze "Vorher" SS2013-SS2016

Bei der sechsten Aussage, „*Säuren sind ätzend*“, haben 74% der Studierenden diese Aussage als „richtige“ Aussage angesehen und nur knapp ein Viertel erkannte fachliche Ungenauigkeiten in dieser Formulierung. Trotz der Ähnlichkeit der Aussagen Sechs und Sieben, ergibt sich hier ein konträres Bild, denn die Aussage „*Basen schmecken seifig*“ erkannten 63% der Studierenden als problematisch und nur 37% stimmten unangemessener Weise mit ihr überein. Die achte Aussage „*Unedle Metalle reagieren mit einer Säure unter Bildung von Wasserstoff und Salz. Das Metall reagiert dabei als Base.*“ wurde wiederum von weit mehr als der Hälfte der Studierenden, knapp 62%, als „richtige“ Aussage bewertet. Diese ist aber aufgrund der beschriebenen Faktoren (siehe. 1.3.3.) als „nicht richtig“ einzustufen und wurde nur von ca. einem Drittel der Studierenden erkannt. Im Fall der Aussage Neun waren die Studierenden schon eher einer Meinung, da 94% der gegebenen Bewertungen die Aussage „*Bei der Neutralisationsreaktion reagieren Säure und Base unter Bildung von Wasser und Salz*“ als unproblematisch einstufen und nur 6%, neun von 147 Studierenden, hatten mit dieser Aussage zurecht ein Problem. Die meisten Studierenden erkannten die zehnte Aussage „*Wenn bei der Neutralisationsreaktion gleiche Mengen von Säure und Base reagieren, ist der pH-Wert der Lösung gleich 7.*“ als problematisch und 74% kreuzten „nicht richtig“ an.

3.1.2. Bewertung „Vorher“ im Zeitraum 2016/17-2019

Im folgenden Diagramm werden nun die Bewertungen der Aussagen durch die Studierenden „angemessen“ oder „unangemessen“ graphisch dargestellt. Aufgrund der genaueren Erfassung der Daten, erhalten wir hier noch eine dritte Kategorie. In diese dritte Kategorie fallen zwei Varianten der Bewertung der Aussagen. Erstens, Studierende, die weder „angemessen“ noch „unangemessen“ angekreuzt haben und somit „keine Angabe“ machten, dafür aber eine Begründung abgegeben haben. Zweitens, Studierende, welche weder „keine Angabe“ noch eine Begründung für diese Entscheidung angegeben haben. In diesem Zeitraum wurde der Fragebogen von 192 Studierenden bewertet.

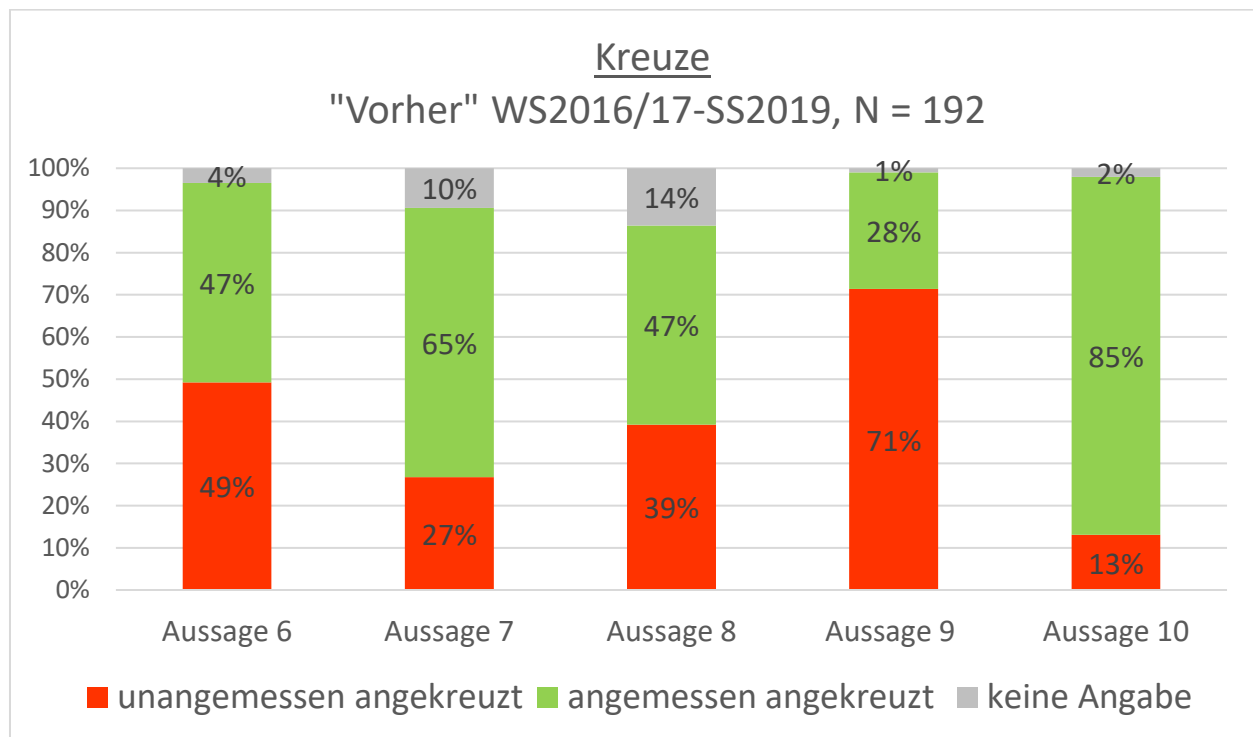


Abbildung 12: Kreuze "Vorher" WS2016/17-SS2019

Bei allen fünf Aussagen kann man einen Anstieg der angemessenen Wahlmöglichkeit im Vergleich zum Zeitraum 2013-2016 erkennen. Nur bei Aussage Sieben fiel dieser Anstieg vergleichsweise gering mit einem Zuwachs von nur 2% aus, alle anderen Aussagen verbuchten einen doch deutlicheren Anstieg von 10-22% in der Wahl der fachlich angemessenen Bewertung „nicht richtig“. Dementsprechend ging auch die Anzahl

der Studierenden, deren Wahl auf die unangemessene Bewertung der Aussage fiel, um 10-25% zurück. Dies ist aber auch zusätzlich der dritten erfassten Kategorie zu verdanken. Nur bei den Aussagen Sieben und Acht sah sich eine relativ hohe Prozentzahl der Studierenden, 10% bzw. 14%, nicht in der Lage sich für eine der beiden Wahlmöglichkeiten zu entscheiden.

3.1.3. Bewertung „Nachher“ im Zeitraum 2016/17-2019

Es wird erwartet, dass sich der Prozentsatz an Studierenden reduziert, welche unangemessen ankreuzen. Schließlich hatten die Studierenden ein Semester lang Gelegenheit, während des Seminars „Einführung in die Didaktik der Chemie“, sich intensiv mit der Säure-Base-Thematik zu befassen.

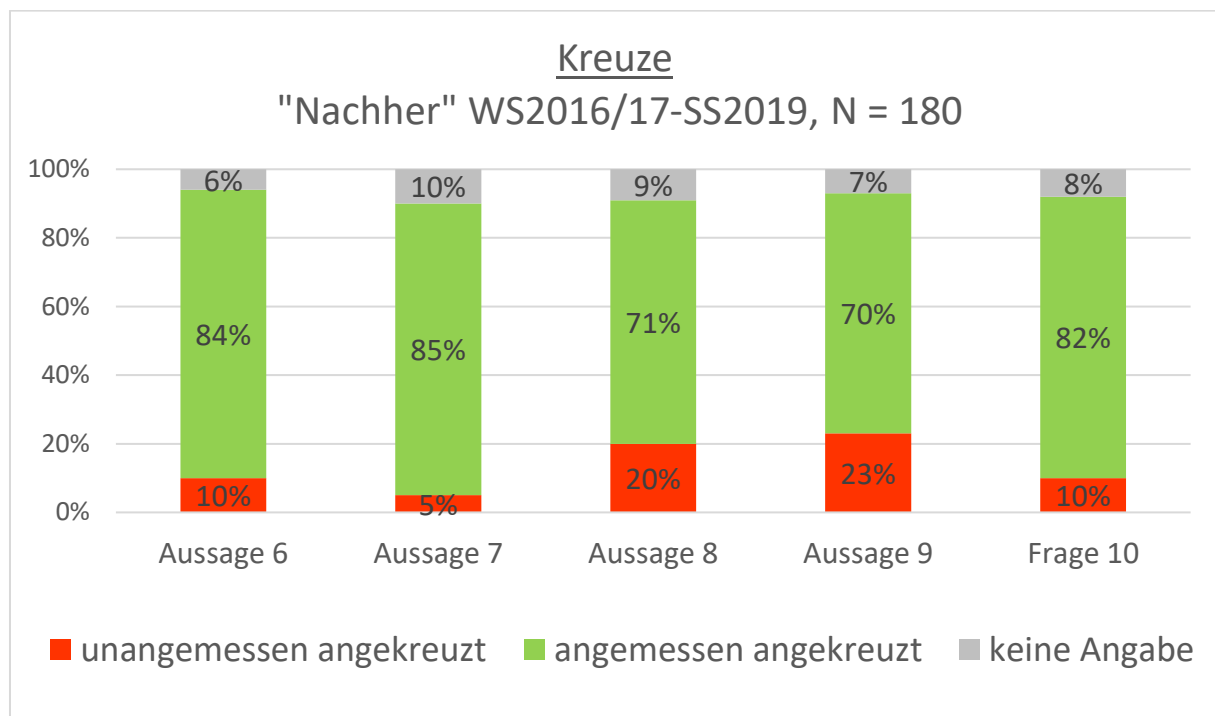


Abbildung 13: Kreuze, Nachher WS2016/17-SS2019

Bei den Aussagen Sechs, Sieben und Zehn zeichnet sich ein sehr deutliches Bild ab. Über 80% der Studierenden entschieden sich für die angemessene Wahl und kreuzten „nicht richtig“ an. Die restlichen rund 20% teilten sich relativ gleichmäßig auf die unangemessene Wahl „richtig“ und keine Angabe auf. Dabei ist hervorzuheben, dass sich

bei diesen drei Aussagen nur noch jeder zehnte Studierende, bzw. bei Aussage Sieben nur noch jeder zwanzigste Studierende, für die unangemessene Wahlmöglichkeit entschieden hat. Die Aussagen Acht und Neun verzeichneten ebenfalls einen deutlichen Anstieg in den angemessenen Kreuzen, jedoch bleiben sie mit 70% und 71% doch um einiges unter der Rate der anderen Aussagen zurück. Dementsprechend wurden diese beiden Aussagen auch mit 20% bzw. 23% deutlich öfter unangemessen bewertet.

3.1.4. Veränderungen im Vergleich „Vorher“ zu „Nachher“

In diesem Abschnitt wird die Veränderung der gesetzten Kreuze bei den Bewertungsmöglichkeiten „richtig“, welche als unangemessen definiert werden, zu den Kreuzen bei „nicht richtig“, welche wiederum angemessen sind, genauer herausgearbeitet.

Der Zeitraum zu Beginn der Erhebungen (2013-2016) wird dabei ausgelassen, da nur Daten zu Beginn der Semester erhoben wurden. Zur einfacheren Darstellung beschränkt sich die erste Graphik also auf den Zeitraum des Wintersemesters 2016/17 bis zum Sommersemester 2019.

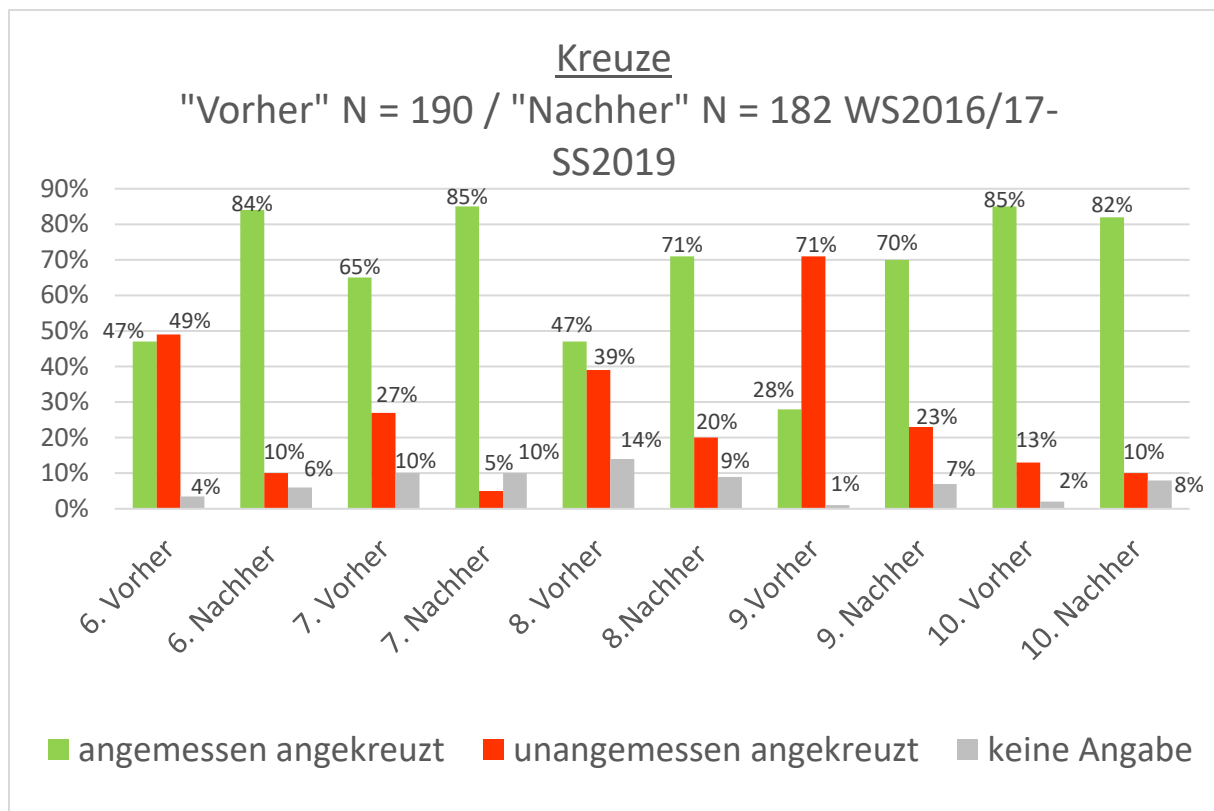


Abbildung 14: Kreuze "Vorher"/"Nachher" WS2016/17-SS2019

Im Schnitt steigt der Prozentsatz an Studierenden, welche sich für die angemessene Bewertungsmöglichkeit entscheiden um 27%. Dabei fällt dieser Trend besonders bei den Aussagen Sechs und Neun auf, bei denen der Anstieg bei über 40% liegt. Eine Besonderheit fällt bei der Aussage Zehn auf, denn hier ist ein Abfall von 3% an angemessenen Bewertungen zu beobachten. Dieser Umstand ist aber mehreren Faktoren geschuldet. Zum einen war schon „vorher“ der Anteil angemessener Bewertungen mit 85% weit höher als bei allen anderen Aussagen und es gab somit kaum Raum für Verbesserung. Zum anderen hat der Anteil der Studierenden, welche „keine Angabe“ machten, um 6% zugenommen. Es haben sich also vermehrt Studierende, welche sich ihrer Sache nicht ganz sicher waren, für keine definitive Bewertung entschieden.

Über alle fünf Aussagen verteilt hat der Anteil an angemessen gesetzten Kreuzen stetig zugenommen. Sowohl im Vergleich der „Vorher“-Daten von „2013-2016“ zu „2016-2019“, als auch innerhalb der Semester im Vergleich „vorher“ zu „nachher“. Im Zeitraum „vorher 2013-2016“ wurden noch knapp 43% der Kreuze bei der angemessenen

Wahlmöglichkeit gesetzt und „Vorher 2016-2019“ waren es schon 54%. Den größten Anstieg sah man aber im Vergleich innerhalb der Semester, also „vorher“ zu „nachher“. Denn „nachher“ entschieden sich im Schnitt 81% der Studierenden angemessene.

An diesen Zahlen kann man nur erkennen, ob die Studierenden diese Aussagen angemessen, unangemessen bzw. keines der beiden angekreuzt haben. Die Vorstellungen und Gedankengänge, welche sie zu dieser Entscheidung brachten, können erst mit den entsprechenden Begründungen nachvollzogen werden.

3.2. Begründungen der Studierenden

Die Begründungen aus dem Zeitraum Wintersemester 2016-17 bis Sommersemester 2019, werden in zwei Schritten analysiert. Zuerst wird aufgezeigt wie viele Studierende auch Begründungen zu ihren angemessenen bzw. unangemessenen Kreuzen abgegeben haben. Es wurde auch erfasst, ob Studierende, die nichts ankreuzten, eine Begründung dafür angegeben haben. Anschließend werden die Begründungen der Studierenden, nach dem beschriebenen Kategoriensystem in die fünf Überkategorien – „(A) fachlich angemessen“, „(B) fachlich unangemessen“, „(C) nicht genügend Aussagekraft“, „(D) unklar“ und „(E) Ich weiß es nicht“ – eingeteilt und graphisch dargestellt. Die Verteilung auf die Unterkategorien wird im Fließtext im Vergleich „vorher“ zu „nachher“ erläutert.

3.2.1. 6. „Säuren sind ätzend“

Bei der sechsten Aussage, „Säuren sind ätzend“, gaben 82% der Studierenden „vorher“ und 86% „nachher“ eine Begründung ihr Entscheidung an. Eine genaue Darstellung der Kreuze der Studierenden und ob Begründungen abgegeben wurden, findet sich in der folgenden Graphik.

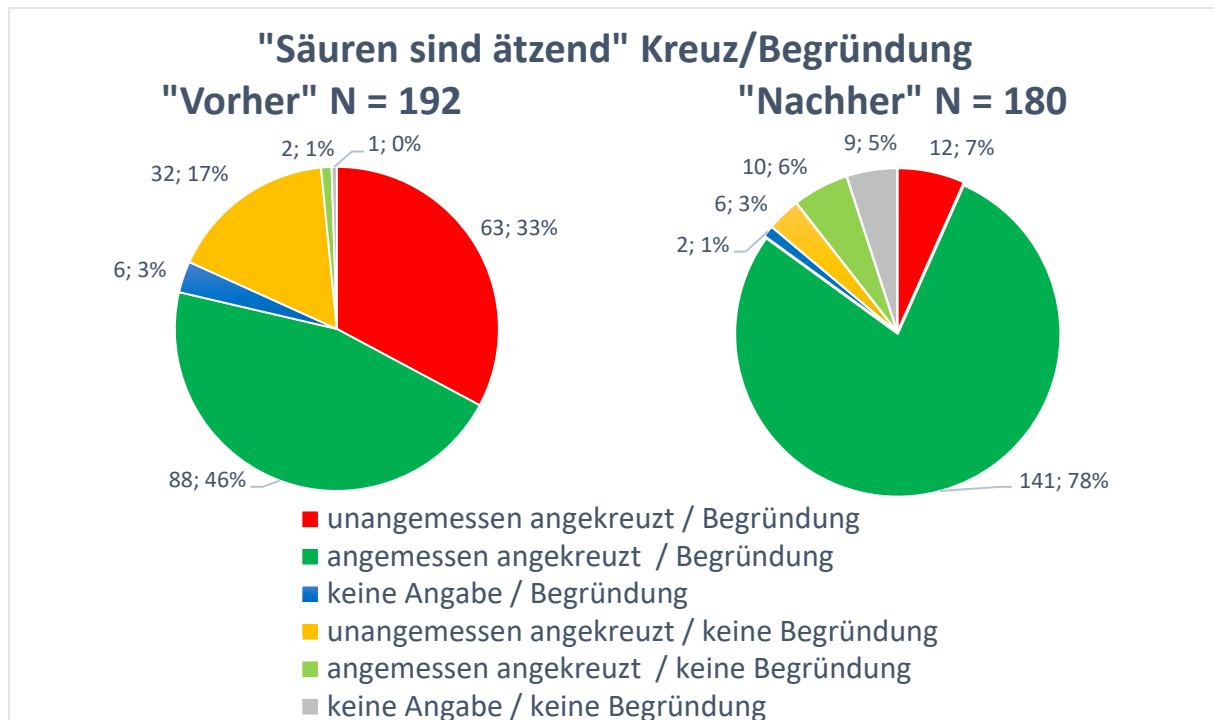


Abbildung 15: "Säuren sind ätzend", Kreuz/Begründung

Wie auch schon im vorherigen Abschnitt besprochen, ist der Rückgang der unangemessenen Bewertungen von fast 50% auf nur 10% im Verlauf des Semesters hervorzuheben. Der Prozentsatz an Studierenden, welche keine Begründung für die unangemessene Wahl angaben, ist dementsprechend auch stark gesunken, von 17% auf 3%. Eine weitere Entwicklung ist, dass sich „vorher“ nur eine Person und „nachher“ 5% der Studierenden entschlossen, weder eine Bewertung noch eine Begründung abzugeben.

Weitaus interessanter ist bei den Begründungen jedoch, welcher Art diese sind. Durch die Einteilung der Begründungen nach dem Kategoriensystem, ergibt sich bei Aussage Sechs folgendes Bild. Die Begründungen der 157 Studierenden konnten teilweise doppelt oder sogar mehrfach kodiert werden, da sich Phrasierungen fanden, die man mehreren Kategorien zuordnen konnte. Somit erhält man 176 Teilbegründungen „vorher“ und 194 „nachher“.

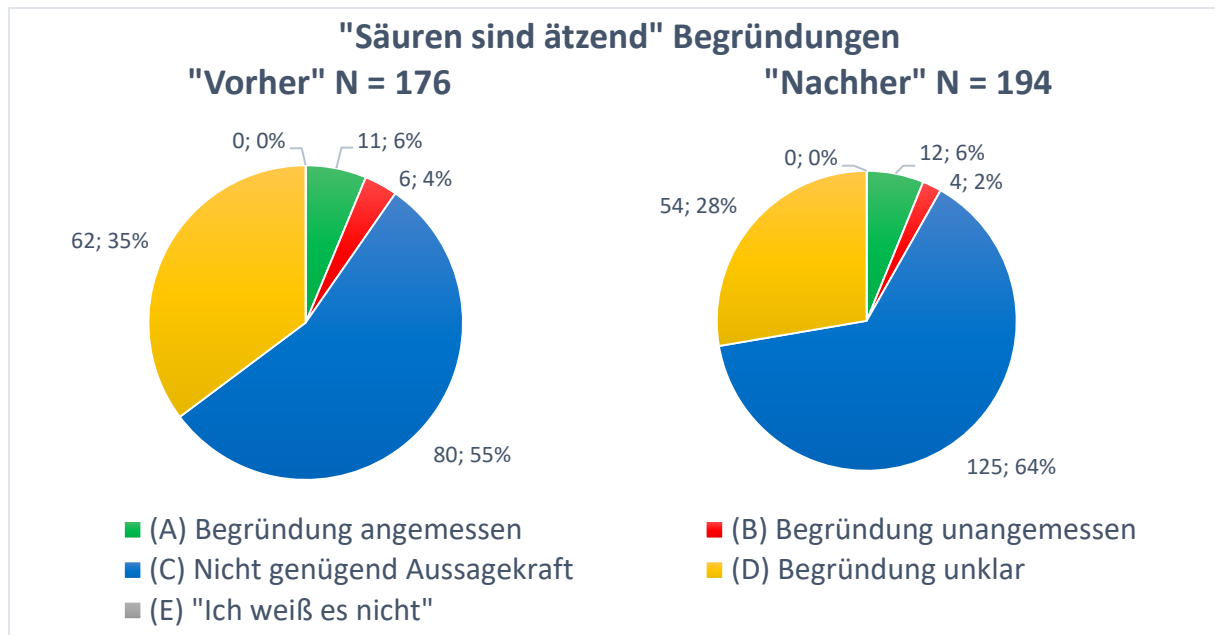


Abbildung 16: "Säuren sind ätzend", Begründungen

(A) Nur eine Person hat „vorher“ und nur zwei Studierende haben „nachher“ im Sinne der Musterbegründung argumentiert. Jeweils neun weitere haben angemessen begründet und sich auf die Teilgebiete der angemessenen Begründung A1 (Konzentration der Lösung und Stärke der Säure) bezogen. Die angemessenen Begründungen nehmen hier jeweils 6% aller Begründungen ein.

(B) Die meisten unangemessenen Begründungen beziehen sich dabei „vorher“ (vier Studierende) auf den „Aufbau der Säure“ (B1), jedoch argumentiert „nachher“ niemand mehr mit dieser Art der Begründung. Jeweils nur eine Person spricht „vom Aufdrängen der Protonen“ (B2) und „Säuren wollen sich neutralisieren“ (B3). Diese beiden Personen verwenden diese Begründung auch „nachher“. Zusätzlich argumentiert jeweils eine Person „nachher“ damit, dass „nur starke Säuren ätzend sind“ (B4) und „Säuren als Katalysatoren wirken“ (B5).

(C) Die Begründungen ohne genügend Aussagekraft stellen sowohl „vorher“ mit 55% als auch „nachher“ mit 64% den größten Teil aller Begründungen. Dabei wurde am häufigsten „Nicht alle“ (C1), nämlich „vorher“ 24-mal und „nachher“ von 41 Studierenden als alleinige Begründung angegeben. Am zweithäufigsten wird mit der „Konzentration“ (C2) argumentiert, 26 Studierende zu Beginn und 20 gegen Ende der Semester.

Einen starken Anstieg von keiner einzigen Person „vorher“ auf 23 Studierende „nachher“ hat die Begründung „in wässriger Lösung“ (C4) gesehen und dieser Trend ist vor allem in den späteren Semestern der Erhebung zu erkennen. Allein mit der „Stärke der Säure“ (C3) wurde von sieben Personen „vorher“ und vier „nachher“ argumentiert. 14 Personen „vorher“ und acht „nachher“ argumentierten damit, dass nicht nur Säuren, sondern auch Basen ätzend sein können (C5). Jeweils drei Studierende begründeten sowohl „vorher“ als auch „nachher“ ihr Kreuz damit, dass „nicht jedes Material angegriffen wird“ (C6).

(D) Knapp ein Drittel der unklaren Begründungen bezieht sich „vorher“ (19 Personen) auf die „Wirkung von Säuren“ (D1.1) und „nachher“ nur noch fünf Studierende. Jeweils drei Studierende beziehen sich „vorher“ und „nachher“ darauf, dass „Wasser auch als Säure reagieren kann“ (D1.2) und weitere zwei Personen begründen „nachher“ nur damit, dass „Säuren Protonendonatoren sind“ (D1.3). 20 Personen „vorher“ und 17 „nachher“ argumentieren mit der „Art der Säure“ (D2). Acht Studierende „vorher“ bzw. nur noch drei „nachher“ argumentierten auf unspezifische Weise mit dem pH-Wert (D3). Die restlichen Teilbegründungen, lassen aufgrund der Phrasierung (D4) bzw. den verwendeten Begrifflichkeiten (D5) keinen logischen Schluss auf den Gedankengang zu. Dabei steigt die Zahl dieser Art der Begründungen im Vergleich „vorher“ zu „nachher“ von 12 Studierenden auf 24 an.

(E) Weder „vorher“ noch „nachher“ wurde von den Studierenden angegeben, dass sie es nicht wissen (E1).

3.2.2. 7. „Basen schmecken seifig“

Zu der Aussage „Basen schmecken seifig“ gaben „vorher“ 77% und „nachher“ 74% der Studierenden Begründungen zu ihrem angemessenen bzw. unangemessenen Kreuz, oder nichts anzukreuzen, ab.

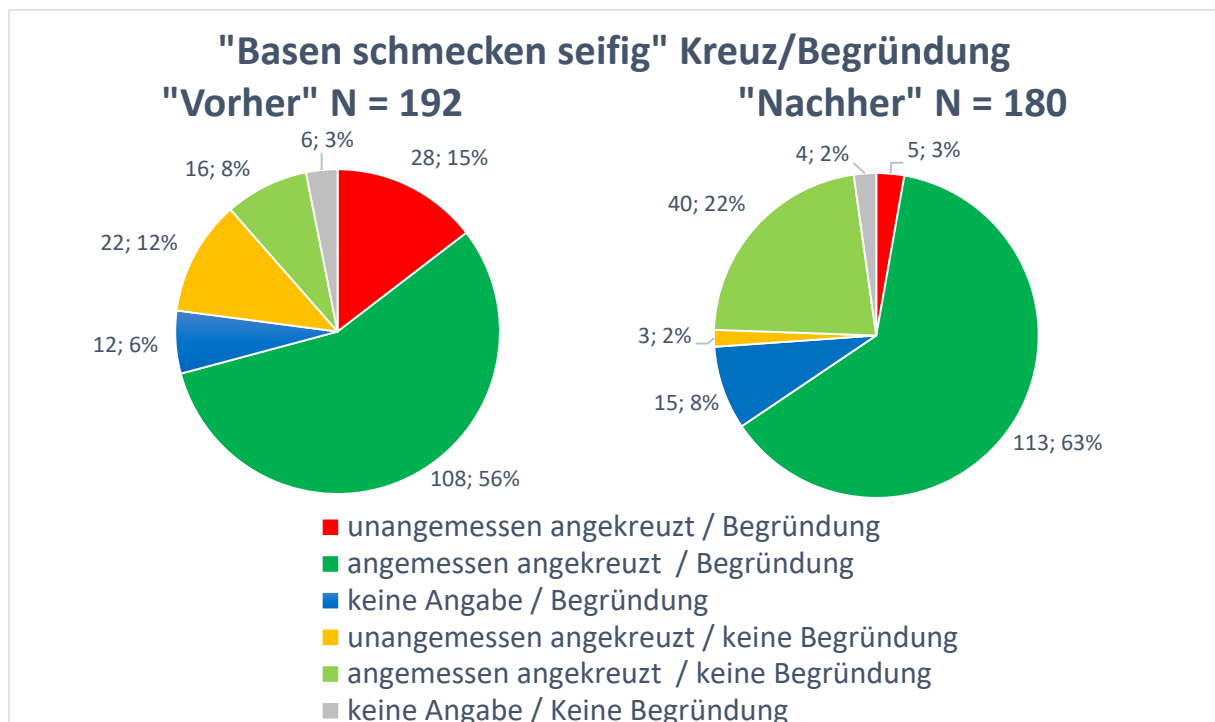


Abbildung 17: „Basen schmecken seifig“ Kreuz/Begründung

Dabei nahm die unangemessene Wahl, sowohl mit Begründung als auch ohne, stark ab, von 27% auf nur noch 5%. Dafür nahmen dementsprechend die angemessenen Kreuze, besonders ohne Begründung, von 64% auf 85% zu. Relativ stabil bei 9% bzw. 10% blieb die Anzahl der Studierenden, welche nichts ankreuzten und somit keine Angabe machten. Jedoch gaben geringfügig mehr Studierende Begründungen dafür an.

„Vorher“ gaben von 192 Studierenden 149 eine Begründung zu ihrer Bewertung ab und diese lassen sich, durch die verschiedenen Anforderungen der Kategorien A-E, in 160 Teilbegründungen unterteilen.

„Nachher“ sinkt die Anzahl der Begründungen aufgrund der geringeren Anwesenheit und der Tatsache, dass zusätzlich mehr Studierende nur die angemessene Wahl trafen, aber dafür keine Begründung abgaben. Aufgrund der Doppel- bzw. Mehrfachcodierung ergeben sich auch hier abweichende Zahlen zwischen der Anzahl der abgegebenen Begründungen (133) und der Einteilung dieser in die Kategorien (154).

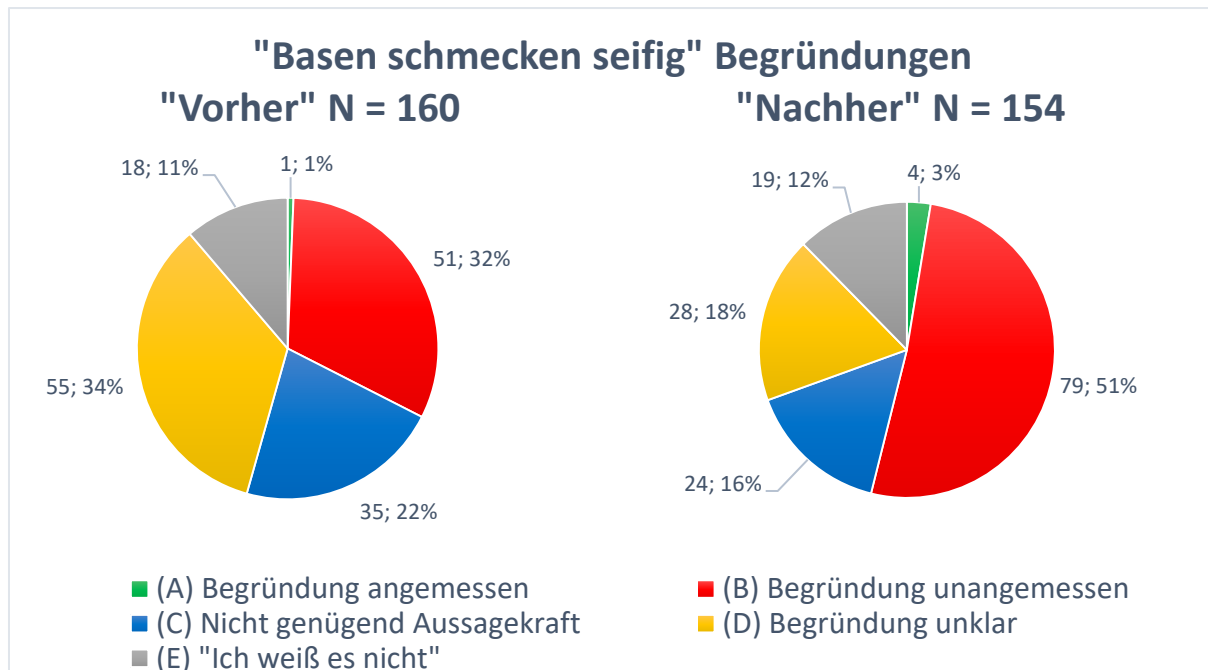


Abbildung 18: „Basen schmecken seifig“, Begründungen

(A) „Vorher“ wurde nur ein einziges Mal mit zwei Teilgebieten der Musterbegründung argumentiert und diese Person bezog sich dabei darauf, dass „Basen nicht nach Geschmack einteilbar sind und dass man nicht kosten sollte (A3). Diese Person hat auch „nachher“ auf diese Weise begründet.

„Nachher“ wurde von vier Studierenden angemessene Begründungen geliefert. Es wurde insgesamt drei Mal mit der angemessenen Begründung A3 argumentiert und eine Person hat die Teilaspekte „geschichtliches Konzept“, sowie den Sicherheitshinweis genannt (A1).

(B) 32% der Studierenden „vorher“ haben auf unangemessene Weise begründet und dabei gab es drei große Blöcke. 36 Studierende bezogen sich auf die unangemessene Begründung B1, also „nicht alle“ Basen schmecken seifig. Sieben Studierende ergänzten diese Begründung mit dem Sicherheitshinweis, dass man nicht kosten sollte (C7). Jeweils eine Person bezog sich nur auf die „Konzentration der Lösung“ (B5) bzw. „Stärke der Base“ (B4) und vier Personen erwähnten beide dieser Aspekte. Vier Mal wurde argumentiert, dass Basen „nur in wässriger Lösung“ seifig schmecken (B6). 13

weitere Studierende bezogen sich auf verschiedene Aussagen bezüglich des Geschmacks (B2). Nur in sehr geringer Anzahl, nämlich nur zwei Personen behaupteten, dass „Basen nichts mit Seifen zu tun haben“ (B3).

„Nachher“ nimmt die Anzahl der unangemessenen Begründungen stark zu, auf 51%. 50 Studierende sprechen von „nicht alle“ (B1), davon stand diese Begründung 32 Mal allein für sich. Die übrigen 18 Personen ergänzten ihre Begründung zu gleichen Teilen mit unterschiedlichen anderen unangemessenen und unklaren Aussagen. Weitere 20 Personen begründeten mit „nur in basischen/wässrigen Lösungen“ (B6). Nur noch eine Person erwähnte wie auch schon „vorher“ die „Konzentration der Lösung“ (B5).

(C) Neun Studierende bezogen sich „vorher“ in ihren Begründungen nur darauf, dass es sich um ein geschichtliches Konzept handelt (C1). 24 Mal wurde der Sicherheitshinweis genannt, dass man basische Lösungen nicht kosten soll (C2). Elf Personen nannten diesen Sicherheitshinweis als alleinige Begründung und nur eine Person fügte einen weiteren Teilaspekt der Musterbegründung hinzu und argumentierte so auf angemessene Weise (A3). Die restlichen zehn Personen ergänzten mit unangemessenen Begründungen, davon sieben Mal mit „nicht alle“ (B1). Zwei Personen argumentierten damit, dass es sich nur um eine Schüler*innenvorstellung handelt (C4).

Weitere acht Personen argumentierten, *„Es hat mit Geschmack nichts zu tun“* (B2.6) und *„man kann Basen nicht nach dem Geschmack einteilen“* (B2.8).

Nur noch zwei Studierende argumentierten mit dem „geschichtlichen Konzept“ (C1) und eine dieser Personen verband dies in angemessener Weise mit dem Sicherheitshinweis „man soll nicht kosten“ (A1). Auch der Teilaspekt der Musterbegründung, dass Geschmacksproben generell verboten sind (C2) wurde nur noch 22 Mal angegeben. Davon nannten diesen acht Studierende als alleinige Begründung und 11 Personen verbanden unterschiedlichste unangemessene und unklare Aussagen damit.

(D) „Vorher“ gab jede*r vierte Studierende unklare Begründungen an. 23-mal wurde mit inhaltlich korrekten Tatsachen argumentiert, die sich jedoch nicht auf die Aussage bezogen (D1). Weitere 10 Studierende verwendeten uneindeutige Begrifflichkeiten

und Phrasierungen (D3), darunter fiel sechs Mal der Begriff „pH-Wert“, welcher nicht näher spezifiziert wurde. Zwei Studierenden war die „Fragestellung zu vage“ (D2) und dabei führten sie nicht näher aus, was sie an dieser ungenau fanden. 18 Personen begründeten damit, dass es von der „Art der Base“ abhängt (D4), jedoch ist unklar, was mit „Art“ gemeint ist.

Auch „nachher“ nimmt die Kategorie D1, fachlich angemessene Begründungen aber keinen Bezug zur Aussage, einen großen Teil der unklaren Begründungen ein. Am häufigsten, sechs Mal, wurde dabei jeweils „Basen sind Teilchen“ und „Seife ist nicht gleich Base“ genannt. Weitere 13 Begründungen konnten durch uneindeutige Begrifflichkeiten und Phrasierungen (D3) keinen Gedankengang erkennen lassen. „Seifig ist keine Geschmacksrichtung“ wurde von fünf Personen genannt. Der „pH-Werte“ wurde hingegen nur noch ein einziges Mal als Begründung angegeben. Nur noch fünf, im Vergleich zu 18 Studierenden „vorher“, argumentierten mit der „Art der Base“ (D4)

(E) Neun Studierende gaben „vorher“ an, nichts darüber zu wissen (E1.1) bzw. wurden auch zwei Fragen gestellt (E1.2) Acht Mal wurde damit argumentiert, dass man selbst noch nie gekostet hätte (E2) und das ist gleichzusetzen mit „ich weiß es nicht“.

„Nachher“ wurde nur noch von vier Personen angegeben, dazu nichts zu wissen, jedoch nahm die Anzahl der Studierenden, welche nur mit „Ich habe noch nie gekostet“ begründeten (E2), von acht Mal „vorher“ auf 15 Mal „nachher“ zu. Eine Frage (E2) im herkömmlichen Sinn wurde „nachher“ nicht gestellt, jedoch drückte eine Person ihre Frustration bei der Bearbeitung dieser Aussage auf ganz spezielle Weise aus (E3). „*Weiß ich wie die Geschmacksknospen funktionieren, bzw. auf OH-Ionen reagieren*“.

3.2.3. 8. Metall mit Base, Bildung von Wasserstoff und Salz

Bei der achten Aussage mussten die Studierenden die Aussage „*Unedle Metalle reagieren mit Säuren unter Bildung von Wasserstoff und Salz. Das Metall wirkt in diesem Fall als Base*“ bewerten. „Vorher“ gaben 59% und „nachher“ 57% eine Begründung zur Wahl, „richtig“, „nicht richtig“ oder keine Angabe zu machen, ab.

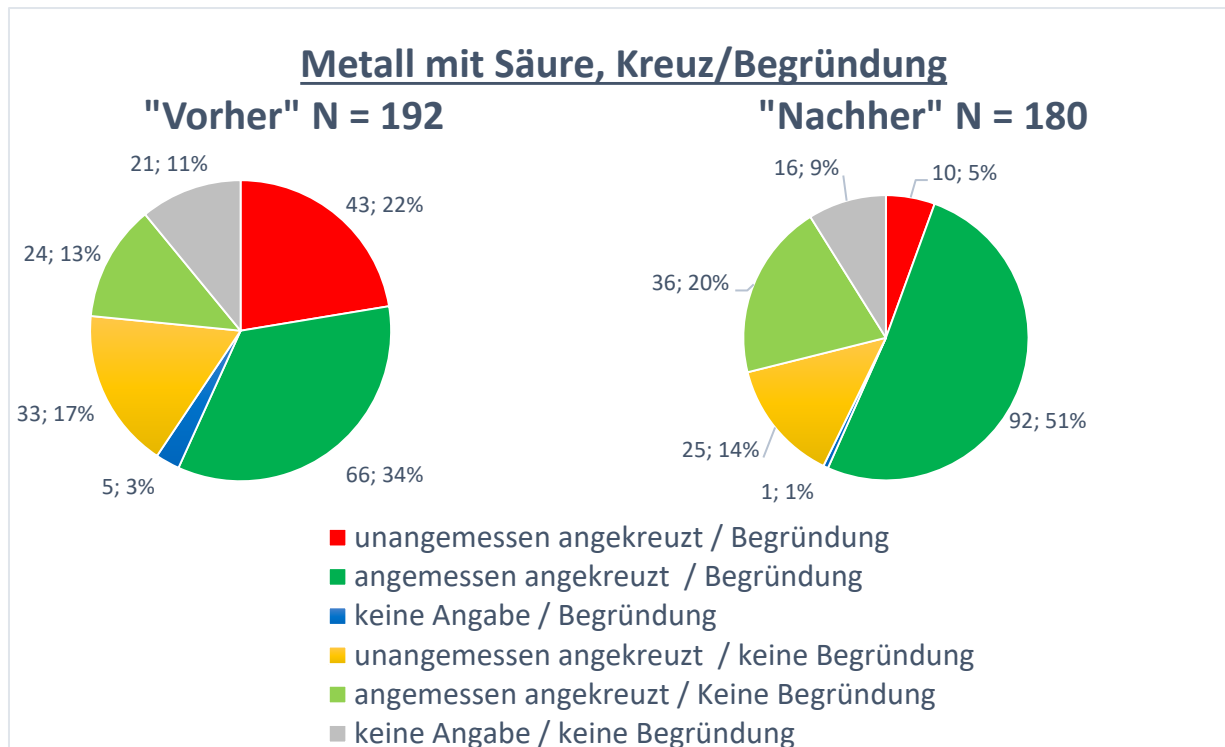


Abbildung 19: Metall mit Säure, Kreuz/Begründung

Die Anzahl der Studierenden, welche die Aussage angemessen bewerteten, stieg sowohl mit Begründung der Wahl, von 34% auf 51%, als auch ohne Begründung, von 13% auf 20% an. Dementsprechend sank auch die Anzahl unangemessener Begründungen. Zu bemerken ist, dass dieser Trend besonders deutlich bei der Kategorie „angemessen/Begründung“ zu sehen ist. Die Anzahl der unangemessenen Kreuze ohne Begründung sinkt „nachher“ nur leicht.

Von den 114 Studierenden „vorher“, und den 103 Studierenden „nachher“ welche Begründungen zu ihren Bewertungen abgaben, konnte man analog zu den Aussagen Sechs und Sieben etliche Begründungen verschiedenen Kategorien zuordnen und so ergeben sich 132 Begründungen „vorher“ bzw. 110 „nachher“.

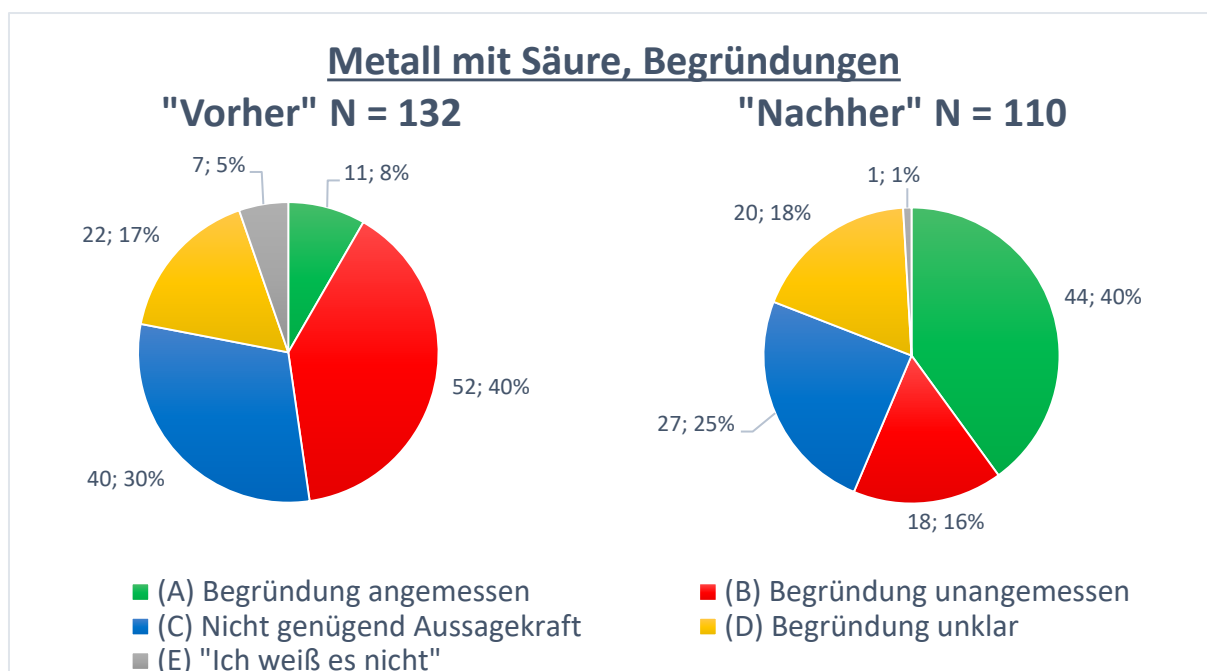


Abbildung 20: Metall mit Säure, Begründungen

(A) „Vorher“ argumentierten elf Studierende angemessener Weise damit, dass es sich um eine Redoxreaktion (A1) und keine Säure-Base-Reaktion handelt. Niemand erkannte jedoch beide Teilaspekte der Musterbegründung und eine der elf angemessenen Begründungen hatte zusätzlich eine unangemessene Vorstellung, nämlich dass immer ein Salz gebildet wird (B3), eingebracht.

Die Anzahl der angemessenen Begründungen steigt „nachher“ auf das Fünffache an, denn 44 Studierende erkannten die angegebene Reaktion als Redoxreaktion (A1). Lediglich eine Person aus diesen 44 argumentierte zusätzlich auch damit, dass nicht immer ein Salz gebildet wird, da dieses meist in Lösung bleibt. Von drei weiteren Studierenden wurde zusätzlich neben der Begründung A1 auch noch die Bildung von Wasserstoff bestätigt, welche allein für sich nicht aussagekräftig genug wäre, jedoch in Verbindung mit A1 eine vollständigere Begründung liefert.

(B) Es findet sich „vorher“ eine große Diversität an unangemessenen Begründungen. Insgesamt sechs Mal wird mit der Salzbildung argumentiert (B3), acht Mal auf die Notwendigkeit einer Neutralisationsreaktion (B2), 16 Mal auf unangemessene Reaktionen

des Metalls (B6) und weitere acht Mal auf das Modell nach Lewis (B7.2) Bezug genommen. Etliche andere unangemessene Unterkategorien werden nur vereinzelt genannt.

Sowohl die Bandbreite als auch die Anzahl an unangemessenen Begründungen nimmt „nachher“ stark ab. Jeweils vier Personen argumentieren damit, dass Salz immer gebildet wird (B3), Wasserstoff nicht immer gebildet wird (B4) bzw. dass das Metall als Base reagiert (B6.1). Nur noch in sehr geringer Anzahl begründen Studierende mit den Unterkategorien B1, B2, B7.2 und B8.

(C) Neun Studierende argumentierten „vorher“ nicht mit ausreichender Aussagekraft nur mit der Salzbildung (C1). 21 Personen bezogen sich auf die Reaktion des Metalls (C2) und davon wurde zwölf Mal das Argument gebracht, dass das Metall nicht als Base reagiert (C2.1.). Weitere acht Studierende begründeten ihre Wahl mit der Zustimmung zur Wasserstoffbildung (C3).

Nur noch fünf Studierende argumentierten „nachher“ mit der Salzbildung (C1), und auch die Anzahl an Personen, welche sich auf nicht aussagekräftige Reaktionen des Metalls bezogen, reduzierte sich von 21 „vorher“ auf 13 „nachher“. Von diesen 13 argumentierten elf damit, dass das Metall nicht als Base wirken kann (C2.1) und diese Begründung wurde somit im Vergleich zu „vorher“ nur geringfügig seltener genannt.

(D) Sechs Mal wurde mit inhaltlich korrekten Begründungen argumentiert, welche sich nicht auf die Fragestellung beziehen (D1). Einer Person war die Fragestellung zu vage (D2) und die restlichen 15 unklaren Begründungen teilen sich zu relativ gleichen Teilen auf verschiedene Aussagen mit uneindeutigen Begrifflichkeiten (D3) und Phrasierungen ohne eindeutig nachvollziehbaren Sinn (D4) auf.

Die Hälfte der unklaren Begründungen waren inhaltlich korrekt, hatten jedoch nichts mit der Aussage zu tun (D1). Sieben dieser zehn Begründungen argumentierten mit „in wässriger Lösung“ (D1.1). Ähnlich zu „vorher“, nur in etwas geringerer Anzahl mit zehn statt 15 Personen, teilen sich die restlichen unklaren Begründungen auf uneindeutige Begrifflichkeiten (D3) und Phrasierungen ohne eindeutig nachvollziehbaren Gedankengang (D4) auf.

(E) Sieben Studierende gaben „vorher“ und nur eine Person „nachher“ an, zu dieser Aussage nichts zu wissen.

3.2.4. 9. Neutralisationsreaktion, Bildung von Wasser und Salz

Zur neunten Aussage, „Bei der Neutralisationsreaktion reagieren Säure und Base unter Bildung von Wasser und Salz“ gaben „vorher“ 65% und „nachher“ 81% der Studierenden eine Begründung zur Wahl, „richtig“ oder „nicht richtig“ bzw. nichts anzukreuzen („keine Angabe“) ab.

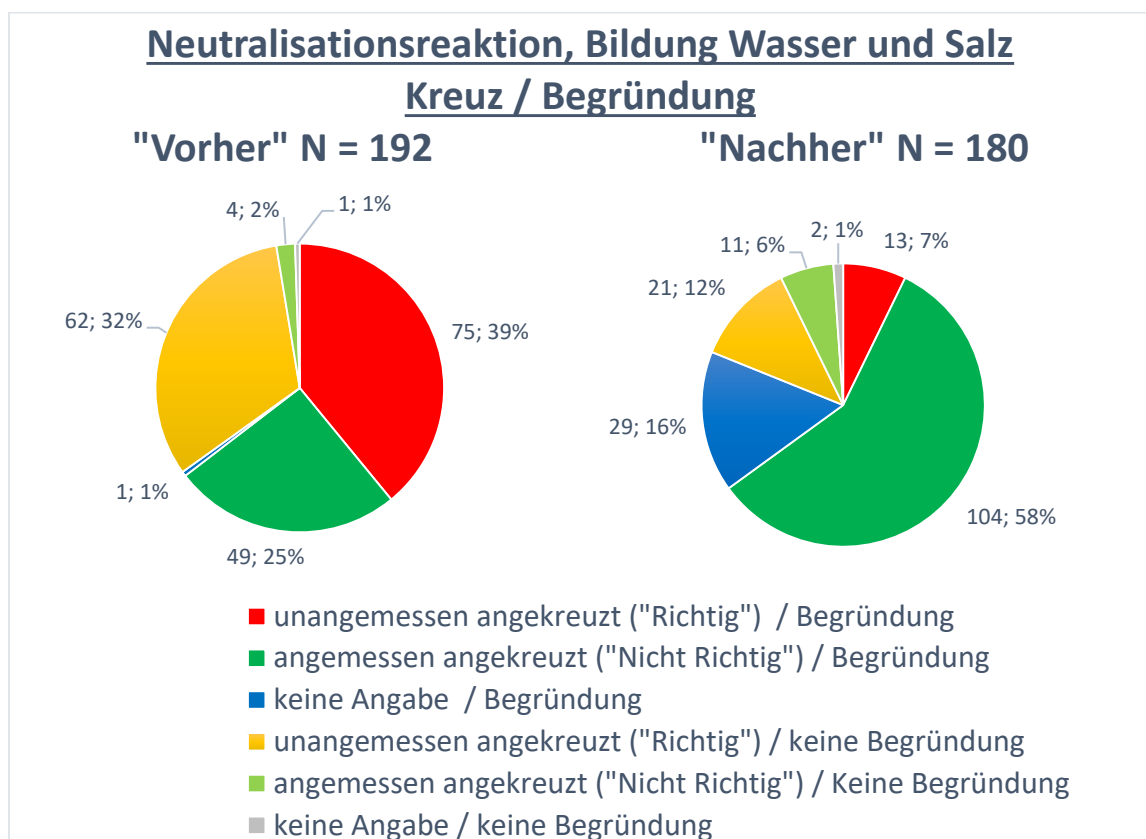


Abbildung 21: Neutralisationsreaktion, Bildung Wasser und Salz, Kreuz/Begründung

Waren „vorher“ noch 71% aller Studierenden der Meinung, dass diese Aussage mit „richtig“ angekreuzt werden sollte, so nahm diese unangemessene Wahl eine Kehrtwende und es entschieden sich „nachher“ 70% für die angemessene Bewertung „nicht richtig“. „Nachher“ wurde auch deutlich öfter „keine Angabe“ gemacht, dafür aber eine Begründung geliefert. Diese beiden Faktoren ließen die zwei großen Blöcke der unangemessenen Bewertungen „vorher“ zu „nachher“ beträchtlich schrumpfen.

Die 125 Begründungen „vorher“ und die 146 „nachher“ ließen sich in 160 bzw. 152 Teilbegründungen einteilen.

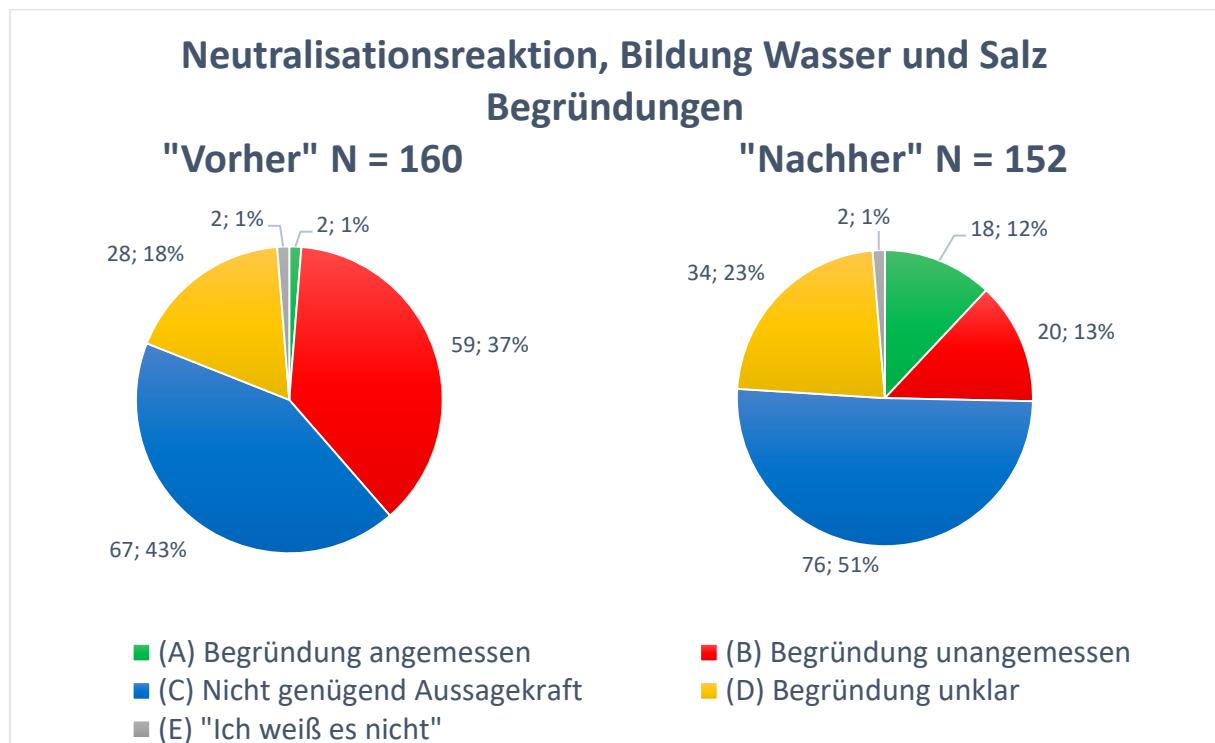


Abbildung 22: Neutralisationsreaktion, Bildung Wasser und Salz, Begründungen

(A) „Vorher“ argumentierten nur zwei Studierende mit der angemessenen Begründung A1 und bestätigten dabei die Wasserbildung mit einer der beiden angemessenen Reaktionsgleichungen und dass nur in sehr seltenen Fällen ein festes Salz gebildet wird. „Nachher“ begründeten weitere drei, also insgesamt fünf Studierende mit der angemessenen Begründung A1. 13 Mal wurde die Bildung von Wasser auf der Stoffebene bestätigt und zusätzlich erwähnt, dass äußerst selten festes Salz gebildet wird (A2).

(B) Mit 37% an unangemessenen Begründungen wurde „vorher“ mit einer Vielzahl an verschiedenen Phrasen argumentiert. 28 Studierende verwendeten die unangemessene Reaktionsgleichung „ $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ “ (B1.1) und weitere 24 Studierende bestätigten die Salzbildung durch unterschiedliche Phrasierungen (B2). 16 Mal wurde nur die Phrase „unter Bildung von Wasser“ wiederholt (B5). Drei Mal wurde die Wasserbildung jedoch auch in Frage gestellt (B3). Bei 13 Studierenden konnte man die Begründung mehreren unangemessenen Kategorien zuweisen.

Den stärksten Rückgang im Vergleich „vorher“ zu „nachher“ sahen die unangemessenen Begründungen. Nur noch fünf Mal wurde die Reaktionsgleichung aus B1.1 verwendet und nur noch sechs Studierende sind der Ansicht, dass Salz gebildet wird (B2). Dafür gaben um das Dreifache mehr, nämlich neun Studierende an, dass nicht immer Wasser gebildet wird (B3).

(C) 26 Studierende begründeten „vorher“ mit der seltenen Bildung von festem Salz (C2). Weitere 8 Studierende haben sich nur darauf bezogen, dass die Neutralisationsreaktion in wässriger Lösung abläuft (C1). 15 Studierende argumentierten nur mit der Reaktionsgleichung „ $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$ “ (C2.2) und nur zwei Mal wurden Oxoniumionen (C2.1) anstatt Protonen genannt.

Die wenigsten Studierenden wechselten ihre Begründung von unangemessen auf angemessen. Vielmehr wurde „nachher“ mit zu wenig Aussagkraft argumentiert, zum Beispiel wurde 30 Mal nur die Salzbildung in Frage (C3) gestellt. Weitere 18 Studierende beschrieben die Reaktion in wässriger Lösung (C1) und davon wurde ebenfalls 13 Mal die Salzbildung in Frage gestellt (C3+ C1). 20 weitere Studierende argumentierten nur mit den Reaktionsgleichungen „ $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$ “ oder „ $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$ “ und davon wurde sieben Mal mit Oxoniumionen (C2.2) und 13 Mal mit Protonen (C2.1.) argumentiert.

(D) Eine ähnlich große Bandbreite wie bei den unangemessenen Begründungen lieferten die Studierenden bei den unklaren Aussagen. Diese waren dafür aber weit seltener. Man konnte elf Begründungen fachlich zwar korrekten Aussagen zuordnen, welche aber nichts mit der Fragestellung zu tun hatten (D1). Weitere sieben Mal konnte aus den Begründungen nicht herausgelesen werden, ob die Wasserbildung oder die Salzbildung ein Problem für die Studierenden darstellt (D2). Die restlichen zehn unklaren Begründungen teilen sich gleichmäßig auf die Kategorien D3 und D4, also uneindeutige Begrifflichkeiten bzw. Phrasierungen, auf.

Die Anzahl an Begründungen, die man nicht eindeutig auf die Salz- bzw. Wasserbildung beziehen konnte, nahm „nachher“ auf 19 Studierende zu (D2). Davon wurde 14 Mal damit argumentiert, dass dies nicht immer so sei (D2.2). Weitere neun Studierende bezogen sich mit fachlich korrekten Begründungen aber nicht auf die Fragestellung

(D1). Uneindeutige Begrifflichkeiten (D3) bzw. Phrasierungen (D4) konnten nur noch sieben Mal gefunden werden.

(E) Nur 2 Studierende gaben an, zu dieser Aussage nichts zu wissen (E1).

Die beiden Studierenden, welche auch „vorher“ ihr Unwissen mit der Aussage ausdrückten, taten dies auch „nachher“. Bemerkenswerterweise erläuterte aber eine Person den eigenen Gedankengang etwas ausführlicher mit der Begründung „*laut dem Seminar ist diese Aussage falsch, das kam aber nicht rüber*“ (E2).

3.2.5. 10. Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7

Die zehnte Aussage „*Wenn bei der Neutralisationsreaktion gleiche Mengen an Säure und Base reagieren, ist der pH-Wert der Lösung gleich 7.*“ sah, trotz des Rückganges der unangemessenen Bewertungen von 9% auf 5%, als einzige eine geringfügige Abnahme in der Anzahl der angemessenen Wahl „nicht richtig“. Dafür wurde öfters keine Angabe gemacht, diese Entscheidung aber meist mit einer Begründung untermauert.

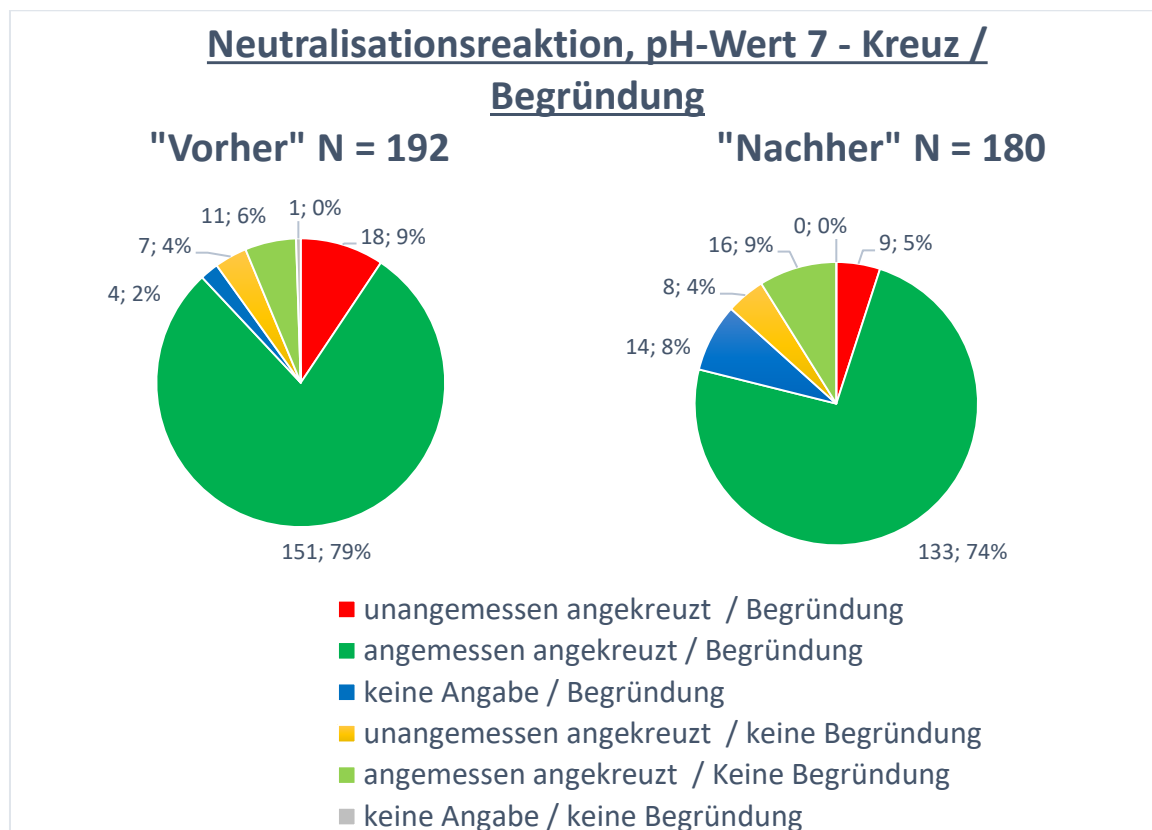


Abbildung 23: Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7, Kreuz/Begründung

Im Vergleich „vorher“ zu „nachher“ wurden weniger Begründungen zur Wahl des Kreuzes bei „richtig“ oder „nicht richtig“, bzw. zur Entscheidung „keine Angabe“ zu machen, abgegeben. Waren es zu Beginn der Semester 90% der Studierenden, die ihre Wahl begründeten, so sank dieser Prozentsatz „nachher“ geringfügig auf 87%.

Von den 173 Studierenden die „vorher“ und den 156 die „nachher“ eine Begründung zur Wahl „richtig“ oder „richt nicht richtig“, bzw. „keine Angabe“ zu machen, abgegeben haben, konnten nur wenige mehrfach kodiert werden. Die meisten Studierenden argumentierten nur mit Phrasen, die sich einzelnen Kategorien zuordnen lassen konnten. Die geringe Anzahl an mehrfach kodierten Begründungen bezogen sich meist auf unterschiedliche Aussagen aus den Kategorien B und C. Es wurden also mehrere nicht aussagekräftige Aspekte genannt (C1 und C2 ...), oder es wurden diese mit unangemessenen Aussagen verstärkt.

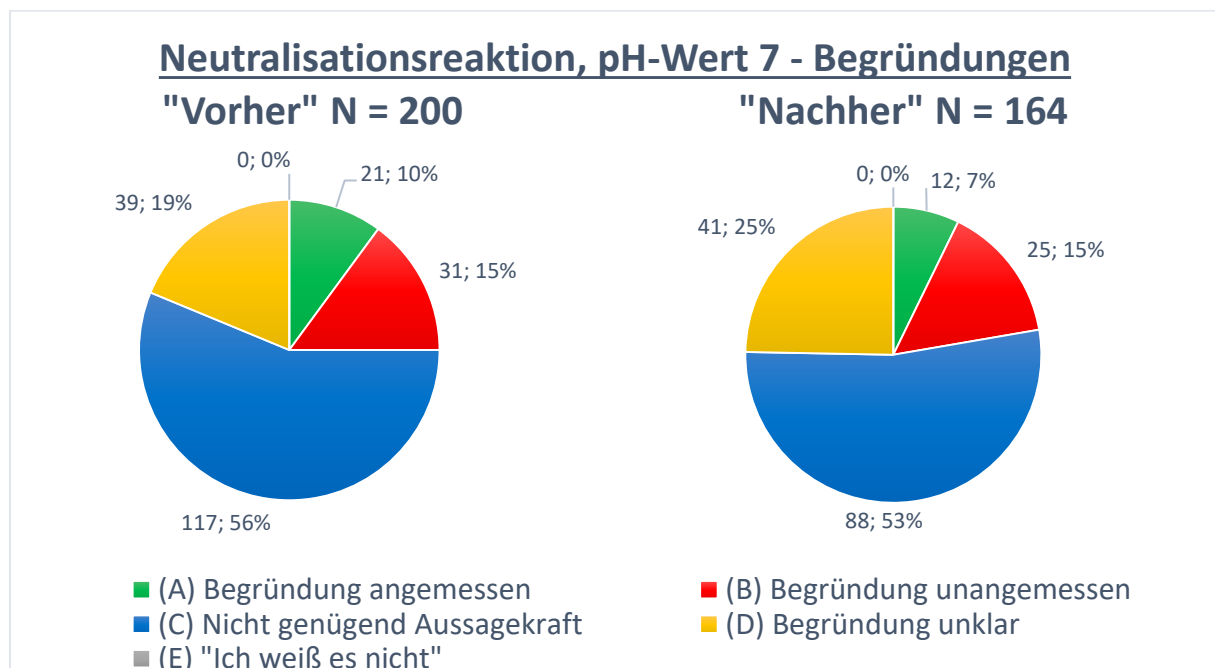


Abbildung 24: Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7, Begründungen

(A) Zwölf Studierende argumentierten „vorher“ mit der Notwendigkeit der gleichen Anzahl an reagierenden Teilchen (A1.1) Jedoch behaupteten davon auch vier Studierende, dass diese gleiche Anzahl allein durch gleiche „Menge“ gegeben sei (B7). Sieben weitere Studierende nahmen den umständlichen Weg und bezogen sich auf die Musterbegründung 2 (A2). Von zwei weiteren Studierenden wurde argumentiert, dass bei gleicher Menge nicht gleich viele Teilchen vorhanden sind (A3).

Interessanterweise ging „nachher“ die Anzahl und der Prozentsatz der angemessenen Begründungen fast auf die Hälfte im Vergleich zu „vorher“ zurück. Nur sechs Studierende argumentierten mit der gleichen Anzahl an Teilchen (A1.1), dafür behauptete nur noch eine Person, dass diese gleiche Anzahl durch die gleiche Menge gegeben sei (B7). Weitere vier Personen gingen den ausführlichen Weg und beschrieben die Bedingungen für einen „*pH-Wert 7*“ in angemessener Weise (A2). Auch „nachher“ kam von denselben beiden Studierenden das Argument, dass bei gleicher Menge nicht gleich viele Teilchen vorhanden sind (A3). Bemerkenswerterweise kam weder „vorher“ noch „nachher“ von niemandem der fachlich angemessene Begriff „moläquivalente Menge“ (A1.2).

(B) Neun Mal wurde in unangemessener Weise damit argumentiert, dass der pH-Wert nicht von den Stoffmengen abhängt (B1). Mit der Wertigkeit der Säuren (B3) argumentierten weitere acht Studierende. Zusätzlich wurden auch verschiedene unangemessene Begründungen zum pH-Wert abgegeben (B4). Vier Mal und in Verbindung mit der angemessenen Begründung A1.1 wurde angegeben, dass die gleiche Anzahl der Teilchen durch eine gleiche Menge gegeben sei (B6). Nur zwei Mal wurde von Puffern gesprochen (B7).

„Nachher“ wurden eine Vielzahl an unterschiedlichen unangemessenen Unterkategorien zur Begründung herangezogen. Dieselben Personen, die „vorher“ mit der „Wertigkeit“ der Säure bzw. Base (B3) argumentierten, taten dies auch „nachher“ und fünf Studierende gaben an, dass der pH-Wert nicht von der Stoffmenge abhängt (B1). Die Entstehung von Pufferlösungen (B7) wurde nicht mehr genannt, dafür wurden vereinzelt andere unangemessene Begründungen abgegeben. Zum Beispiel, dass der pH-Wert nicht von der Konzentration abhängt (B4.4) und dass der pH-Wert automatisch neutral ist (B4.2) wurde von jeweils einer Person genannt.

(C) Mit 56% „vorher“ und 53% „nachher“ sind die nicht aussagekräftigen Begründungen die mit Abstand häufigsten. 28 Studierende argumentierten „vorher“ mit der Konzentration der sauren und basischen Lösungen (C1) und davon ergänzten neun Personen ihre Begründungen durch verschiedene unangemessene und unklare Aussagen. Die Mehrheit dieser Kategorie bilden die Aussagen zur Stärke der Säure und Base (C2). Diese wurden insgesamt 71 Mal als Begründung, davon 54 Mal alleinstehend

hend, angegeben. Auch diese Begründung wurde von 13 Studierenden mit einer Vielzahl an anderen unangemessenen bzw. nicht aussagekräftigen Begründungen verbunden.

„Nachher“ stieg die Anzahl an Personen, welche nur mit der Konzentration argumentierten, leicht an auf 29 Studierende und davon verbanden nur noch fünf Personen weitere unangemessene bzw. unklare Aspekte mit ihrer Argumentation. Wurde „vorher“ noch 71 Mal mit der Stärke der Säure und Base begründet, so ging dies auf 49 Studierende zurück. Aber exakt gleiche viele, nämlich 13 Studierende, argumentierten zusätzlich zu den nicht aussagekräftigen mit verschiedensten unangemessenen Begründungen. Von diesen 13 Studierenden argumentierten sechs auch schon „vorher“ auf diese Weise. Das bedeutet, dass sieben Personen von „vorher“ zu „nachher“ diese unangemessene Begründungsweise ablegten, jedoch auch sieben andere Studierende „nachher“ zusätzlich ihre Begründung durch unangemessene Aussagen erweiterten.

(D) Nur sehr vereinzelt, jeweils drei Mal, kam eine Begründung, die sich nicht auf die Fragestellung bezog (D1) bzw. uneindeutige Begrifflichkeiten (D3) verwendete. Hingegen von jeweils zehn Studierenden wurde die Fragestellung, im speziellen der Begriff Menge, (D2) beanstandet bzw. mit uneindeutigen Phrasierungen argumentiert (D4). Sechs Personen bezogen sich auf die Art der Säure bzw. Base (D5) und hierbei kommt nicht heraus, ob die „Stärke“ der Säure/Base gemeint ist.

„Nachher“ wurde von vier Personen argumentiert, dass der pH-Wert von verschiedenen Faktoren abhängt (D1.3), jedoch führten sie diese Faktoren nicht an. Wiederum zehn Mal wurde der Begriff Menge als Problem angesehen, jedoch nicht weiter ausgeführt, was genau daran problematisch sei (D2). Sechs Studierende verwendeten uneindeutige Begrifflichkeiten (D3) und neun Mal konnte die Begründung aufgrund der Phrasierung (D4) nicht nachvollzogen werden. Mit zwölf Mal am häufigsten wurde die Art der Säure bzw. Base genannt (D5).

(E) „Vorher“ und auch „nachher“ gab niemand an, seine Wahl nicht begründen zu können.

3.3. Erkenntnisse

Die folgenden beiden Diagramme stellen nochmals die Auswertung der Aussagen 6-10 gemeinsam dar.

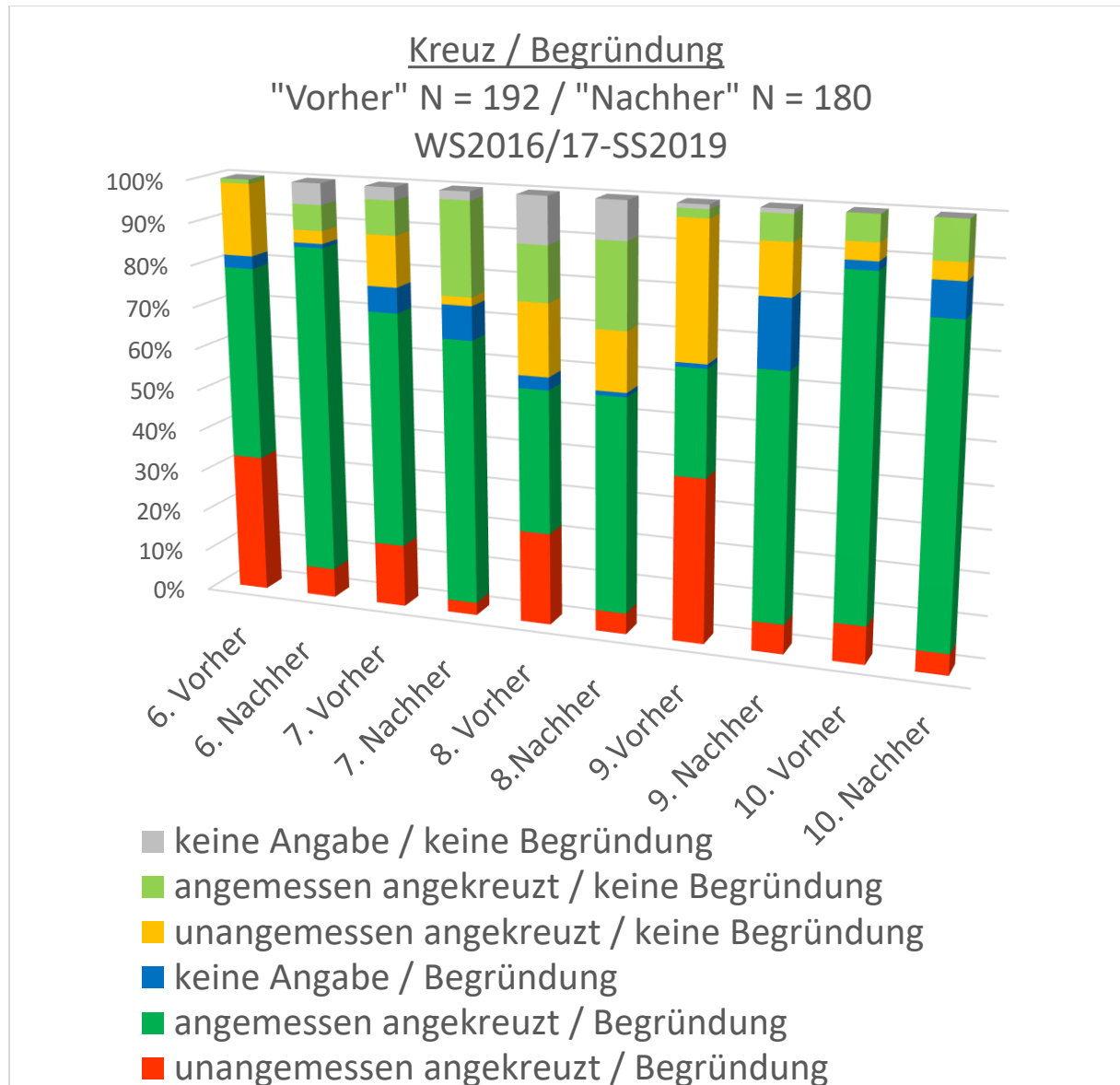


Abbildung 25: Aussagen 6-10, Kreuz/Begründung

Die Anzahl der angemessenen Kreuze bei „nicht richtig“ stieg, außer bei Aussage Zehn, deutlich im Vergleich „vorher“ zu „nachher“ und dementsprechend nahmen auch die unangemessenen Kreuze bei „richtig“, sei es mit Begründung oder ohne, ab. Bei den Aussagen Sieben, Neun und Zehn entschieden sich „nachher“ auch teilweise deutlich mehr Studierende, dass weder „richtig“ noch „nicht richtig“ anzukreuzen sei.

Die Studierenden gaben auch bei den Aussagen Sieben, Acht und Zehn „nachher“ weniger Begründungen zu ihrer Wahl ab. Nur bei der achten Aussage konnten um die 10% der Studierenden keine Angaben machen.

Im Schnitt über alle fünf Aussagen bewerteten „vorher“ 40% der Studierenden unangemessen, 54% angemessen und 6% machten keine Angabe. „Nachher“ bewerteten im Schnitt nur noch 12.5% der Studierenden unangemessen und 77.5% angemessen. Die Anzahl der Studierenden, die weder angemessen noch unangemessen ankreuzten, stieg jedoch auf durchschnittlich 10%. Diese Faktoren deuten darauf hin, dass eine generelle Unsicherheit mit der Thematik besteht. Diese Erkenntnis wird weiters durch die Auswertungen der Begründungen untermauert.

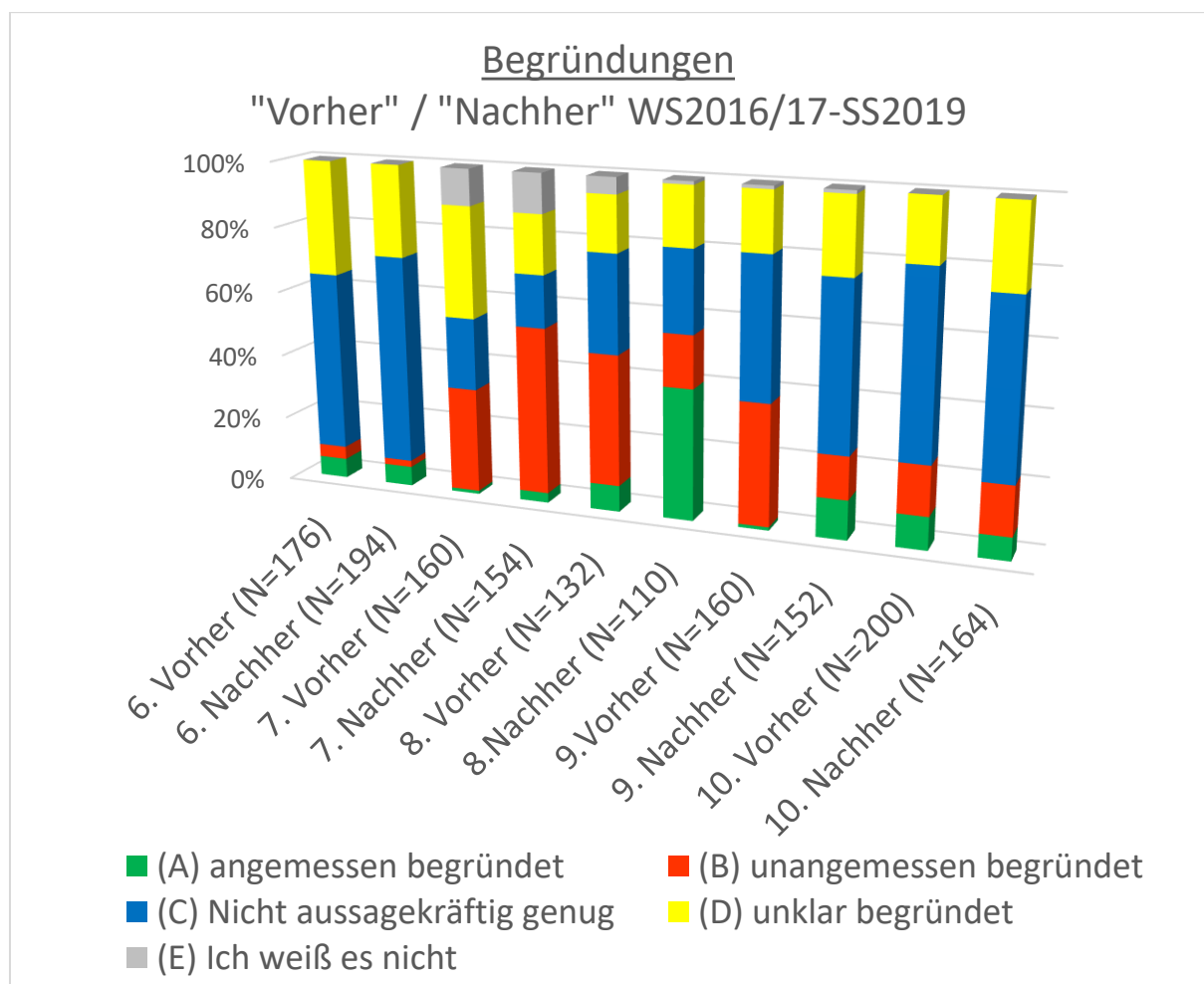


Abbildung 26: Aussagen 6-10, Begründungen

(A) Bei den Aussagen Sieben, Acht und Neun steigen die angemessenen Begründungen im Vergleich „vorher“ zu „nachher“. Nur bei der achten Aussage ist dieser Anstieg

deutlich von 8% „vorher“ auf 40% „nachher“ zu erkennen. Weiters wird diese Besserung besonders in den späteren Semestern der Erhebung deutlich. Die siebte Aussage verzeichnet nur einen geringen Anstieg von 2%. Dieser Anstieg fällt bei der neunten Aussage schon deutlicher aus von nur 1% auf 12%. Bei der sechsten Aussage bleiben die angemessenen Begründungen konstant bei 6% und bei der zehnten Aussage sinkt der Prozentsatz sogar von 9% „vorher“ auf nur 6% „nachher“.

Diese kleinen Prozentsätze an angemessenen Begründungen deuten auf generelle Unsicherheiten in der Bearbeitung von Fragestellungen dieser Art. *„Misconceptions are resistant to change, persistent and difficult to extinguish even with instruction designed to address them.“* (Cetin et al., 2017)

Jedoch kann man, zumindest bei der achten Aussage, eine deutliche Steigerung der angemessenen Begründungen erkennen und somit dürfte hier eine Vorstellung vorliegen, die entweder gezielter angesprochen wird, oder einen nicht so veränderungsresistenten Charakter aufweist.

Der Umstand, dass beispielsweise bei der zehnten Aussage *„Wenn bei der Neutralisationsreaktion gleiche Mengen an Säure und Base reagieren, ist der pH-Wert der Lösung gleich 7.“* nach Absolvierung des jeweiligen Semesters niemand mit der fachlich angemessenen und relativ einfachen Phrase „es müssen moläquivalente Menge an Oxonium- und Hydroxidionen reagieren“ argumentiert hat, deutet weiters darauf hin, dass das Konzept des pH-Werts nicht in seiner Gesamtheit verstanden wird. Schon Sisovic und Bojovic (2000) erkannten, dass besonders das Konzept des pH-Werts nur durch ihre Relation zu anderen chemischen Konzepten (Chemisches Gleichgewicht, chemische Reaktionen, Stöchiometrie...) in angemessener Weise verstanden werden kann.

(B) Für alle Aussagen, außer der siebten, lässt sich im Vergleich „vorher“ zu „nachher“ eine Abnahme der unangemessenen Begründungen erkennen. Am deutlichsten bei den Aussagen acht, von 40% „vorher“ zu nur noch 16% „nachher“, und neun von 37% „vorher“ zu nur noch 13% „nachher“. Bei unserer zehnten Aussage sieht man nicht nur einen Abfall der angemessenen Begründungen, sondern auch die unangemessenen Begründungen sind konstant bei 15% geblieben.

Die meisten unangemessenen Vorstellungen werden aber offensichtlich doch im Laufe des Seminars angesprochen. Die Studierenden dürften sich aber oft nicht im Klaren sein, dass ihre Wortwahl, auch wenn die zugrundeliegende Vorstellung nicht in vollem Maße unangemessen ist, zu unangemessenen Begründungen führt. Beispielsweise wurde bei den Aussagen sechs und sieben häufig mit der „Art“ der Säure bzw. Base argumentiert. Aus dem Alltagssprachgebrauch könnten die Studierenden angemessene Vorstellungen, also Stärke der Säure bzw. Base und Konzentration der sauren bzw. basischen Lösungen, damit verbinden, jedoch kommt dies durch die Wortwahl nicht heraus.

(C) Einen großen Teil nehmen die Begründungen mit zu wenig Aussagekraft ein. Am geringsten mit nur 22% Anteil fällt dies bei unserer siebten Aussage auf. Die Aussagen Sechs und Zehn verbuchen teilweise sogar mehr als 50% aller Begründungen in dieser Kategorie. Wiederum bilden die Aussagen Acht und Zehn eine Ausnahme, denn nur bei diesen nimmt der Prozentsatz im Vergleich „vorher“ zu „nachher“ etwas ab. Bei den restlichen steigen die Prozentsätze von 7% auf 29% (7. Aussage) und 17% auf 47% (9. Aussage).

Im Schnitt über alle Aussagen „vorher“ und „nachher“ begründen 40% aller Studierenden mit zu wenig Aussagekraft. Es werden also nicht alle Teilaspekte, die für eine angemessene Begründung benötigt werden, genannt. Das spricht für fachliche Defizite bei den Studierenden, da die aufeinander aufbauenden Teilaspekte nicht angemessen aufeinander bezogen werden. Es gab offensichtlich kein Bedürfnis nach längeren Begründungen, denn von keiner Person wurde der vorhandene Platz auf dem Fragebogen ausgereizt und das lässt darauf schließen, dass das fachliche Grundlagenwissen nicht vollständig ist.

(D) Unklare Begründungen nehmen im Schnitt mit knapp über 20% einen weiteren großen Teil ein. Die Aussagen Sechs und Sieben verbuchen im Vergleich „vorher“ zu „nachher“ einen Abfall und die Aussagen Acht, Neun und Zehn einen leichten Anstieg der unklaren Begründungen. Diese sind auch oft mit Begründungen der Kategorie C (nicht genügend Aussagekraft) und etwas seltener mit unangemessenen Begründungen gemeinsam genannt worden.

Daraus kann man ableiten, dass die Studierenden eine große Bandbreite an nicht angemessenen Vorstellungen verinnerlicht haben, welche Größtenteils tief verankert sind. Um angemessen zu begründen, müssen verschiedene Teilaspekte aufeinander bezogen werden können und es muss eine fachliche Kompetenz vorhanden sein, welche sich dann in sprachlicher Genauigkeit ausdrückt. Zirka 20% lieferten Begründungen, welche sich nicht genau einteilen lassen und daher als unklar gelten. Dies deutet darauf hin, dass die fachliche Kompetenz bei einem relativ hohen Anteil an Studierenden unzureichend ausgeprägt ist und sich dies auch im Laufe der Lehrveranstaltung nur geringfügig verbessern lässt.

(E) Außer bei der siebten Aussage, 11% „vorher“ und 12% „nachher“, gab nur ein verschwindend geringer Anteil der Studierenden als Begründung an, dass sie nichts mit dieser Aussage anfangen können. Da aber im Schnitt zusätzlich etwa 25% aller Studierenden keine Begründung für die Wahl „richtig“ oder „nicht richtig“, sowie nichts anzukreuzen abgab, dürfte die Zahl der Studierenden, die diese Wahl nicht begründen können viel größer ausfallen. Man kann aber durch die Angabe keiner Begründung nicht zwischen „ich weiß es nicht“ (Kategorien E) und „ich kann es begründen, bin mir aber unsicher“ unterscheiden. Dieser Umstand deutet wiederum darauf hin, dass die Unsicherheiten mit der Säure-Base-Thematik vielschichtig sind.

Der angestrebte Konzeptwechsel wurde also noch nicht vollzogen, denn *„für einen erfolgreichen Konzeptwechsel sind folgende Gelingensfaktoren zentral:*

- *Die Erklärungskraft des vorhandenen Konzepts wird als unzureichend empfunden.*
- *Das neue Konzept ist verständlich und erscheint sinnvoll.*
- *Das neue Konzept ermöglicht bessere Erklärungen als das alte.*
- *Das neue Konzept lässt sich vielfältiger gewinnbringend anwenden.“* (Lembens, 2017, S. 28)

Durch die Bearbeitung der Begründungen der Chemielehramtsstudierenden wurde deutlich, dass zwar ein Großteil der Studierenden die Erklärungskraft des Modells nach Arrhenius als unzureichend empfindet, jedoch die neuen Erklärungen des Brønsted-Modells für die Bearbeitung der Fragestellungen nicht gewinnbringend anwenden kann.

Schon Lembens und Reiter (2017) haben erkannt, dass im Seminar „Einführung in die Didaktik der Chemie“ die Studierenden auch nach Beendigung des Seminars mit diversen unangemessenen Vorstellungen zu kämpfen haben. Weiters haben sie herausgefunden, dass die Studierenden nicht zwischen den Modellen nach Arrhenius und Brønsted unterscheiden und auch immer noch oft die Teilchenebene mit der Phänomenebene vermischen bzw. diese sprachlich nicht voneinander getrennt halten. Diese Erkenntnisse können durch die Analyse der Begründungen bestätigt werden. Exemplarisch dafür ist, dass ein Großteil der Studierenden nicht explizit auf der Teilchenebene (unter 10%) argumentiert. Nach dem Brønsted-Modell wäre aber auf der Teilchenebene zu argumentieren.

Zusammenfassend kann man hier herauslesen, dass die Studierenden zu einem Großteil erst „nachher“ die Aussagen angemessen bewerten, indem sie die Kreuze bei „nicht richtig“ setzen. Jedoch hatten die meisten Studierenden Probleme damit, diese angemessene Wahl auch angemessen zu begründen. Die Vielfalt an unangemessenen und unklaren Begründungen weist ebenfalls auf ein breites Spektrum an Vorstellungen hin, die sich nur zu einem geringen Teil im Laufe der Lehrveranstaltung verändern lassen. Es bestätigt sich also, *„dass Lernen nicht durch simple Weitergabe von Wissen geschieht, sondern dass es ein aktiver Prozess des Konstruierens ist, der in jedem Menschen zu individuell verschiedenen Ergebnissen führen kann. [...] Sind Vorstellungen, Vorerfahrungen und/ oder Vorwissen nicht kompatibel mit den zu lernenden (neuen) Konzepten, dann ist es nötig, einen Konzeptwechsel zu vollziehen - ein mühsamer Prozess, der gut angeleitet und begleitet werden muss [...]“* (Lembens, 2017, S.29).

3.4. Empfehlungen

Um die verschiedensten Mischkonzepte und Fehlvorstellungen schon an ihrer Entstehung zu hindern, empfiehlt Lembens (2017) nur das Modell nach Brønsted in der Schulbildung zu lehren und nicht mit Arrhenius zu beginnen und dann umzulernen. Damit erspart man sich den Aufwand für die Initiierung eines Konzeptwechsels bei den Studierenden, denn durch die Beschränkung auf ein Modell könnten die Mischkonzepte schon in der Entstehung gehindert werden. Dieser Empfehlung kann nach der durchgeführten Analyse der gelieferten Begründungen der Studierenden nur zugestimmt werden, da viele der unangemessenen und unklaren Begründungen auf eine Vermischung der Konzepte schließen lässt.

Es muss aber, ausgehend von den schon vorhandenen Vorstellungen, ein reflektierter Umgang mit der Säure-Base-Thematik gepflegt werden und dafür bieten sich die „Conceptual change texts“ an. *„One of the most successful techniques to overcome student's misconceptions is the conceptual change texts or refutational texts“* (Dole, Neiderhauser, 1990). Weiters führte auch schon Barke (2006, S.31) an, dass die Bildung von unangemessenen Schüler*innenvorstellungen durch die Verwendung des Johnstone-Dreiecks verhindert werden kann, sofern dieses Einsatz im Unterricht findet.

In der „fachdidaktischen Perspektive“ (Punkt 1.2.3.1. & 1.2.3.2.) wurde dargelegt, dass diverse Quellen (Schulbücher, Internetseiten ...) mangelhaft sind. Mit Unterlagen dieser Art, braucht es Lehrkräfte, die sich der Vielfalt der verschiedenen Vorstellungen bewusst sind und durch regelmäßige Wiederholung etwaige uneindeutige Reaktionsgleichungen, oder Merksprüche für die Lernenden vereindeutigen (vgl. Barke, 2006). Van Driel und Verloop (1999, 2002) haben aber durch mehrere Studien erkannt, dass auch das Wissen und die Konzepte erfahrener Lehrkräfte, zu Modellen in der Säure-Base-Thematik, nicht ausreichend sind bzw. die Modelle vermischt werden.

Dies zu beheben ist nur durch eine entsprechende Aufklärungsarbeit für aktive Lehrkräfte und durch angepasste Bildung der zukünftigen Lehrkräfte zu ermöglichen. Diese Aufgabe liegt vornehmlich im Aufgabenbereich der universitären Bildung. Der nur geringe Zuwachs an angemessenen Begründungen im Vergleich „vorher“ zu „nachher“, sowie die Vielfalt der vorhandenen Vorstellungen legt nahe, dass auf der Universität

nicht alle Grundsteine für einen angemessenen Konzeptwechsel der zukünftigen Lehrkräfte gelegt werden.

Nach der Absolvierung der Veranstaltung „Einführung in die Didaktik der Chemie“ gibt es keine weitere Lehrveranstaltung auf der Universität, die explizit der Säure-Base-Thematik gewidmet ist. Es wird im weiteren Verlauf des Studiums also davon ausgegangen, dass die Studierenden größtenteils angemessene Vorstellungen mitbringen. Daher wird empfohlen, dass nach Ausfüllen des Fragebogens „nachher“ eine fachlich und sprachlich angemessene Bearbeitung des Fragebogens durchgeführt wird. In diversen Gesprächen mit anderen Chemielehramtsstudierenden wurde dieser Wunsch ebenfalls ausgedrückt, da zwar der Fragebogen zweifach bearbeitet wird, aber nie in einer für die Studierenden eindeutigen Weise „aufgelöst“ wird.

Das Ziel soll sein, dass ein Großteil der Studierenden des Chemielehramts, im Idealfall alle zukünftigen Lehrkräfte, unangemessene von angemessenen Aussagen unterscheiden können, dies auch angemessen begründen können und sich der Vielfalt an verschiedenen Vorstellungen bewusst sind. Durch einen reflektierten Umgang mit den eigenen Vorstellungen soll in Zukunft ein Unterricht gefördert werden, der sowohl auf die sprachlichen als auch auf die fachlichen Feinheiten dieser elementaren Thematik eingeht und die Entstehung unangemessener Vorstellungen bei jungen Lernenden verhindert.

4. Verzeichnisse

4.1. Literaturverzeichnis / Quellenverzeichnis

Barke, H.-D. (2006): *Chemiedidaktik, Diagnose und Korrektur von Schülerinnenvorstellungen*, Springer-Verlag.

Barke, H.-D. (2015): *Brönsted-Säuren und Brönsted-Basen: es sind nicht Stoffe, sondern Moleküle oder Ionen*. In: Chemie & Schule (5), S. 10–15.

Barke, H.-D., Büchter, J. (2018): *Der Laborjargon und Fehlvorstellungen bei Studierenden*. In: Chemie & Schule (3), S. 12–16.

Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2018): *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis* (3. Aufl.) Berlin: Springer-Spektrum [elektronische Version]. doi:10.1007/978-3-662-56492-9.

Bizzo N., (2002): *Reflections upon a national program assessing science textbooks: what is the importance of content in science education*, Paper presented at the 10th IOSTE Symposium, Foz do Iguaçu, Brazil, Jul 28th-Aug 2nd, S. 743-753.

Bradley, J. D., Mosimege, M. D. (1998): *Misconceptions in acids and bases: A comparative study of student teachers with different chemistry backgrounds*. South african journal of chemistry, 51(3), S. 137-145.

Bifie, (2011): Kompetenzmodell Naturwissenschaften. 8. Schulstufe. Online verfügbar unter https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf, zuletzt abgerufen 02.07.2020.

BMBWF, (2018): Lehrplan der Neuen Mittelschule. BGBl. II Nr. 185/2012 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 230/2018. Online verfügbar unter https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/lp/lp_ahs.html, zuletzt abgerufen 02.07.2020.

Carr, M. (1984): *Model confusion in chemistry*. Research in Science Education, 14(1), S. 97-103.

Cetin, A., Kaya, E., Geban, O. (2005): *Facilitating Conceptual Change in Acid-Base Concepts*. In: EDUCATION-LINE. Online verfügbar unter <http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/143727.htm>, zuletzt geprüft am 02.07.2020.

Chen, Y. C., Benus, M. J. & Yarker, M. B. (2016). *Using models to support argumentation in the science classroom*. The American Biology Teacher, 78(7), 549-559.

Cooper, M. M., Kouyoumdjian, H., Underwood, S. M. (2016): *Investigating Students' Reasoning about Acid-Base Reactions*. In: J. Chem. Educ. 93 (10), S. 1703–1712. DOI: 10.1021/acs.jchemed.6b00417.

ChemgaPedia: Säuren und Basen. Online verfügbar unter http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/8/bc/vlu/chem_grundlagen/sauren_basen.vlu.html zuletzt geprüft am 01.03.2020.

Demircioğlu, G., Ayas, A. & Demircioğlu, H. (2005): *Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases*. Chemistry Education Research and Practice, 6(1), 36-51.

De Jong, O., Veal, W. R., & Van Driel, J. H. (2002): *Exploring chemistry teachers' knowledge base*. In Chemical education: Towards research-based practice (pp. 369-390). Dordrecht: Springer.

Dole, J.A.; Neiderhauser, D.S. (1990): *Student's level of commitment to their naive conceptions and their conceptual change learning from texts*. In: J.Zuttel and McCormick, Ed. Literacy Theory and Research: Analysis from Multiple Paradigms. Chicago: National Reading Conference

Dörfler, T., Barke, H.-D. (2009): *Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren: Beispiel Neutralisation*. In: CHEMKON 16 (3), S. 141–146. DOI: 10.1002/ckon.200910096.

Drechsler, M., Schmidt, H.-J. (2005): *Textbook's and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching*. In: Chem. Educ. Res. Pract., Karlstad, S. 19–35.

Drechsler, M., van Driel, J. (2008): *Experienced Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Teaching Acid-base Chemistry*. In: Res Sci Educ 38 (5), S. 611–631. DOI: 10.1007/s11165-007-9066-5.

Drechsler, M., van Driel, J. (2009): *Teachers' perceptions of the teaching of acids and bases in Swedish upper secondary schools*. In: Chem. Educ. Res. Pract. 10 (2), S. 86–96. DOI: 10.1039/B908246H.

Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (1985): *Children's ideas and the learning of science. Children's ideas in science*, 1-9.

Duit, R. (1995): *Vorstellungen und Lernen von Physik und Chemie: Zu den Ursachen vieler Lernschwierigkeiten*. Plus Lucis, (2), 11-18.

Eilks, I., Bäumer, M. & Byers, B. (2010): *Methodische Innovationen für die Chemielehre: - ein vernachlässigtes Feld an unseren Hochschulen?* In CHEMKON: Forum für Unterricht und Didaktik (Vol. 17, No. 3, pp. 124-130). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.

Feige, E. M., Rutsch, J., Dörfler, T. & Rehm, M. (2017): *Von der Alltagsvorstellung zum fachwissenschaftlichen Konzept: Schülervorstellungen diagnostizieren und weiterentwickeln*. Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie, 28(159), 2-8.

Flandorfer, H., Kern, G., Lembens, A., Luef, C. (2014): *Begleitseminar zur Vorlesung "Allgemeine Chemie A" für Lehramtsstudierende*. moodle-Kurs. Online verfügbar unter https://moodle.univie.ac.at/pluginfile.php/1505148/mod_resource/content/1/Begleitseminar_Vorbesprechung_WiSe_2014-15.pdf, zuletzt abgerufen 02.07.2020.

Gabel, D. (1999): Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. Journal of Chemical education, 76(4), 548-554.

Garnett, P. J., Garnett, P. J., Hackling, M. W. (1995): *Students alternative conceptions in chemistry. A review of research and implications for teaching and learning*, S. 69–95.

Hammerschmid, S. (2019): *Entwicklung und Validierung einer Conceptual Coherence Map zur Analyse des Säure-Base-Themas in Schulbüchern der SEK I* (Diplomarbeit).

Hank, B. (2018): *Schülervorstellungen und Konzeptwandelprozesse*. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht (S. 217-238). Seelze: Aulis.

Hawkes, S. J. (1992): *Arrhenius confuses students*. Journal of Chemical Education, 69(7), 542-543.

Hoe, K. Y., Subramaniam, R. (2016): *On the prevalence of alternative conceptions on acid–base chemistry among secondary students: insights from cognitive and confidence measures*. In: Chem. Educ. Res. Pract. 17 (2), S. 263–282. DOI: 10.1039/C5RP00146C.

Johannsmeyer, F. (2004): *Stationen auf dem Weg ins Diskontinuum im Chemieunterricht der Sekundarstufe I* [Dissertation]. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.

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.

Johnstone, A. H. (2000): *Teaching of chemistry-logical or psychological?* Chemistry Education: Research and Practice in Europe, 1(1), 9-15.

Kind, V. (2004): *Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas* (2nd edition). School of Education, Durham University. <https://edu.rsc.org/download?ac=15564>.

Lembens, A. (2017): *Säuren und Basen. Sprache und Konzeptwechsel als Herausforderung für den Chemieunterricht*. In: Chemie & Schule (3), S. 28–29.

Lembens, A., Becker, R. (2017): *Säuren und Basen - Stolpersteine für SchülerInnen, Studierende und Lehrende*. In: Chemie & Schule (1). 12-15.

Lembens, A., Reiter, K. (2018a): *Pre-service Chemistry Teachers' Conceptions of How to Teach 'Acids and Bases'*. In: Finlayson, O., McLoughlin, E., Erduran, S. & Childs, P. (Gen. Eds.), E-Book Proceedings of the ESERA 2017 Conference: Research, Practice and Collaboration in Science Education. Dublin, Ireland: European Science Education Research Association. S. 1660-1668.

Lembens, A., Reiter, K. (2018b): *Vorstellungen von Lehramtsstudierenden zum Thema ‚Säuren und Basen‘ – Eine Herausforderung für die LehrerInnenbildung*. In: C. Maurer (Hrsg.), Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017 (Vol. 38). Kiel: IPN. S. 432–435.

Lembens, A., Hammerschmid, S., Jaklin-Farcher, S., Nosko, C., Reiter, K. (2019): *Conceptual Coherence Maps als Instrument zur Analyse von Schulbüchern*. in C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik* (Band 39, S. 161-164).

Lin, J.-W., Chiu, M.-H. (2010): *The Mismatch between Students' Mental Models of Acids/Bases and their Sources and their Teacher's Anticipations thereof*. In: *International Journal of Science Education* 32 (12), S. 1617–1646. DOI: 10.1080/09500690903173643.

Lindsay, J. (1970): *The origins of alchemy in Greco-Roman Egypt*. London: Muller

Liu, C.-J., Hou, I.-L., Chiu, H.-L., Treagust, D. F. (2014): *An Exploration of Secondary Students' Mental States When Learning About Acids and Bases*. In: *Res Sci Educ* 44 (1), S. 133–154. DOI: 10.1007/s11165-013-9373-y.

Mortimer, C. E.; Beck, J., Müller, U. (2014): *Chemie. Das Basiswissen der Chemie*. 11. Auflage. Thieme, Stuttgart, S. 234-238.

Oelkers, J. (2010). *Lehrmittel: Rückgrat des Unterrichts*. In: Folio Nr. 1, S. 18-21. URL: http://edudoc.ch/record/37008/files/012010_oelkers.pdf zuletzt abgerufen 02.07.2020

Petermann, K., Friedrich, J. & Oetken, M. (2008): *Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren: Inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. In CHEMKON: Forum für Unterricht und Didaktik (Vol. 15, No. 3, pp. 110-118). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). *Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change*. *Science education*, 66(2), 211-227.

Rehm, M., Ropohl, M., Steffensky, M. & Parchmann, I. (2017). *Schülervorstellungen nutzen: Ein wichtiges Merkmal effektiven Chemieunterrichts*. *Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie*, 28(159), 9-12.

Reiners, C. S. (2017): *Chemie vermitteln: Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen*. Berlin: Springer-Spektrum [elektronische Version]. doi:10.1007/978-3-662-52647-7.

Ross, B. H. (1989): *High School Students' Concepts of Acids and Bases*. Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario.

Riesenfeld, E. H. (1931): *Svante Arrhenius*. Leipzig: Akad. Verl.-Ges

Sheppard, K. (2006). *High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena*. Chemistry Education Research and Practice, 7(1), 32-45.

Sisovic, D., Bojovic, S. (2000): *Approaching the concepts of acids and bases by cooperative learning*. In: Chemistry Education: Research and Practise in Europe (1), S. 263-275.

Studienplan für das Lehramtsstudium Unterrichtsfach Chemie an der Fakultät für Chemie der Universität Wien (2011), Online verfügbar unter https://ssc-chemie.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/s_ssc_chemie/Dateien_Studienangebot/Lehramtsstudium_alt/Studienplan_Lehramt_mod_Homepage_09_2011_01.pdf, zuletzt abgerufen 02.07.2020.

Tan, K. C. D., Moccerino, M., Treagust, D. F., Chandrasegaran, A. I. (2012): *Understanding rate of acid reactions: Comparison between pre-service teachers and Grade 10 students*. In: Australian Journal for Education in Chemistry, S. 37–54.

Teilcurriculum (2016) für das Unterrichtsfach Chemie im Rahmen des Bachelorstudiums zur Erlangung eines Lehramts im Bereich der Sekundarstufe (Allgemeinbildung) im Verbund Nord-Ost. In: Mitteilungsblatt UG 2002 vom 27.06.2014, 39. Stück, Nummer 210 1. Änderung und Wiederverlautbarung Mitteilungsblatt UG 2002 vom 27.06.2016, 41. Stück, Nummer 248, Online verfügbar unter https://senat.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/s_senat/konsolidiert_Lehramt/Teilcurriculum_Chemie_BA_Lehramt.pdf, zuletzt abgerufen 02.07.2020.

Van Driel, J., Verloop, N. (1999): *Teachers' knowledge of models and modelling*. In: science. International Journal of Science Education, 21, S. 1141-1153.

Van Driel, J., Verloop, N. (2002): *Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling*, In: science education. International Journal of Science Education, 24, S. 1255-1272.

Wikipedia (2013): *Säuren*. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4uren>, zuletzt abgerufen 02.07.2020.

4.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: konjugiertes Säure-Base-Paar, allgemein.....	13
Abbildung 2: konjugiertes Säure-Base-Paar, Beispiel	13
Abbildung 3: Lewis - Elektronenpaarübertragung, Beispiel 1	15
Abbildung 4: Lewis - Elektronenpaarübertragung, Beispiel 2	15
Abbildung 5: Das Johnstone Dreieck (in Anlehnung an Lembens & Becker, 2017) ..	17
Abbildung 6: Becherglasmodell: Neutralisation von Salzsäure und Natronlauge (in Anlehnung an Dörfer & Barke 2009, S.144)	19
Abbildung 7: Schema nach Steinbuch (in Anlehnung an Barke et al., 2018, S.242)	21
Abbildung 8: Schema nach Steinbuch unter Einbeziehung des Johnstone Dreiecks (in Anlehnung an Johannsmeyer, 2004, S.15).....	21
Abbildung 9: pH-Wert-Skala, Definition „neutraler pH-Wert“.....	40
Abbildung 10: Kopf des Fragebogens, Erstellung des personalisierten Codes	47
Abbildung 11: Kreuze "Vorher" SS2013-SS2016	78
Abbildung 12: Kreuze "Vorher" WS2016/17-SS2019	79
Abbildung 13: Kreuze, Nachher WS2016/17-SS2019	80
Abbildung 14: Kreuze "Vorher"/"Nachher" WS2016/17-SS2019	82
Abbildung 15: "Säuren sind ätzend", Kreuz/Begründung.....	84
Abbildung 16: "Säuren sind ätzend", Begründungen	85
Abbildung 17: „Basen schmecken seifig“ Kreuz/Begründung	87
Abbildung 18: „Basen schmecken seifig“, Begründungen	88
Abbildung 19: Metall mit Säure, Kreuz/Begründung	91
Abbildung 20: Metall mit Säure, Begründungen	92
Abbildung 21: Neutralisationsreaktion, Bildung Wasser und Salz, Kreuz/Begründung	94
Abbildung 22: Neutralisationsreaktion, Bildung Wasser und Salz, Begründungen ...	95

Abbildung 23: Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7, Kreuz/Begründung	97
Abbildung 24: Neutralisationsreaktion, pH-Wert 7, Begründungen.....	98
Abbildung 25: Aussagen 6-10, Kreuz/Begründung	101
Abbildung 26: Aussagen 6-10, Begründungen	102

5. Zusammenfassung

Das Thema ‚Säuren und Basen‘ leistet einen wichtigen Beitrag zur Art und Weise wie junge Lernende naturwissenschaftlich denken lernen. Durch unangemessene Vorstellungen zu dieser Thematik kann sowohl das Verständnis als auch das Interesse an naturwissenschaftlichen Denkprozessen getrübt werden. Um die Ausbildung unangemessener Vorstellungen bei Lernenden zu verhindern, muss zunächst erkannt werden, bei welchen Fragestellungen sich Lernende, sowie oft auch erfahrene Lehrkräfte, unsicher sind.

In der vorliegenden Diplomarbeit wurden die Vorstellungen von Chemielehramtsstudierenden zum Thema ‚Säuren und Basen‘, welche im Verlauf der Lehrveranstaltung „Einführung in die Didaktik der Chemie“ mithilfe eines zehn Aussagen umfassenden Fragebogens gesammelt wurden, analysiert. Diese Analyse liefert eine Übersicht darüber, ob die Vorstellungen angemessener, unangemessener, oder unklarer Art sind, wie häufig diese vorkommen und wie veränderungsresistent diese im Verlauf einer dem Thema gewidmeten Lehrveranstaltung sind.

Die Vorstellungen junger Lernender werden durch Vorerfahrungen aus dem Alltag, der Schulzeit und dem universitären Werdegang geprägt. Vor allem ein uneindeutiger Sprachgebrauch der Lehrkräfte, welcher zwischen der Teilchen-, Substanz- und Phänomenebene nicht eindeutig unterscheidet, sowie die Verwendung mehrerer Modelle zur Beschreibung von Vorgängen in der Säure-Base-Thematik können unangemessene Vorstellungen hervorrufen. Es wurden durch die Analyse des Fragebogens sowohl Vorstellungen unangemessener Art als auch Vorstellungen ohne genügend Aussagekraft, welche man größtenteils auf die Verwendung mehrerer konkurrierender Modelle zurückführen kann, in großer Anzahl gefunden. Nur eine sehr geringe Anzahl an Studierenden konnte im Verlauf der Lehrveranstaltung „Einführung in die Didaktik der Chemie“ die unangemessenen Vorstellungen überwinden. Das spricht für eine hohe Veränderungsresistenz der vorhandenen Vorstellungen.

Daher benötigt es Lehrende, denen sowohl die Wichtigkeit eines angemessenen Sprachgebrauchs als auch die Beschränkung auf das Modell nach Brønsted bewusst ist und somit die Bildung unangemessener Vorstellungen bei Lernenden verhindern.

6. Anhang

6.1. Fragebogen

Bitte erstellen Sie einen Code:

die <u>ersten beiden</u> Buchstaben des Vornamens der Mutter
die <u>ersten beiden</u> Ziffern deines eigenen Geburtstages
<u>Zweiter</u> und <u>dritter</u> Buchstabe des eigenen Vornamens

IHR
CODE:

Beispiel

CODE:

Vorname der Mutter: <u>Maria</u>	M	A
Eigener Geburtstag: <u>06.10.1992</u>	0	6
Eigener Vorname: <u>Robert</u>	O	B

Welche Vorstellungen haben Sie zum Thema „Säuren und Basen“?

Bitte kreuzen Sie jeweils eine Antwort an.

1. Um eine Aussage über die Stärke einer Säure machen zu können, sollte Folgendes bekannt sein.

- I) die Konzentration
- II) die Anzahl der Wasserstoffatome in der Verbindung
- III) der potentielle Protolysegrad im Wasser
- IV) der pH-Wert

Bitte ankreuzen: a) I und II b) nur III c) II und III d) II und IV

2. Was ist der Unterschied zwischen einer starken und einer schwachen Säure?

Bitte ankreuzen:

- a) Starke Säuren haben einen höheren pH-Wert als schwache Säuren
- b) Starke Säuren enthalten mehr Wasserstoffatome als schwache Säuren
- c) Starke Säuren sind konzentrierter als schwache Säuren
- d) Starke Säuren können potentiell mehr ionisieren als schwache Säuren

Sind die folgenden Aussagen Ihrer Meinung nach richtig oder nicht richtig?

Bitte kreuzen Sie an und begründen Sie Ihre Meinung kurz.

3. „Mit einem Indikator kann man zwischen sauren, neutralen und basischen Lösungen unterscheiden.“

- a) richtig b) nicht richtig

Weil

4. „HCl ist Salzsäure.“

a) richtig b) nicht richtig

Weil

5. „NaOH ist eine Base.“

a) richtig b) nicht richtig

Weil

6. „Säuren sind ätzend.“

a) richtig b) nicht richtig

Weil

7. „Basen schmecken seifig.“

a) richtig b) nicht richtig

Weil

**8. „Unedle Metalle reagieren mit Säuren unter Bildung von Wasserstoff und Salz.
Das Metall wirkt in diesem Fall als Base.“**

a) richtig b) nicht richtig

Weil

9. „Bei der Neutralisationsreaktion reagieren Säure und Base unter Bildung von Salz und Wasser.“

a) richtig b) nicht richtig

Weil

10. „Wenn bei der Neutralisationsreaktion gleiche Mengen von Säure und Base reagieren, ist der pH-Wert der Lösung gleich 7.“

a) richtig b) nicht richtig

Weil
