

Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden

Tobias Allmers^{1,*}, Cornelia Stiller² & Matthias Wilde²

¹ Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne

² Universität Bielefeld

* Kontakt: Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne,
Klosterstr. 1, 49740 Haselünne
tobias.allmers@kgsuhaseluenne.de

Zusammenfassung: Im vorliegenden Beitrag wird ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Konzentration von Kochsalzlösungen über dessen konzentrationsabhängige Eigenschaften (Masse des Rückstands & Dichte der Lösungen) vorgestellt. Die Durchführung des Experiments erlaubt die Vertiefung von erkenntnistheoretischen Aspekten, Kriterien des naturwissenschaftlichen Arbeitens und der Qualitätsmerkmale naturwissenschaftlichen Arbeitens. Darüber hinaus wird das Arbeiten mit Modellvorstellungen thematisiert, das in einer sich anschließenden Unterrichtseinheit weiter vertieft werden kann.

Schlagwörter: Experimentieren, Scientific Inquiry, Konzentrationsbestimmung, Modellvorstellungen, Unterrichtskonzept



1 Einleitung

Die Kenntnis der prozentualen Zusammensetzung von Kochsalzlösungen ist für verschiedene Bereiche relevant, da beispielsweise unterschiedliche Konzentrationen unterschiedliche physiologische Wirkungen auf pflanzliche und tierische Zellen haben können. Eine Veränderung der Konzentration von Kochsalzlösungen in Böden kann so zu einer Veränderung der Population von Pflanzen führen (Haunhorst, Stockey & Wilde, S. 107–116 in diesem Heft). Ferner werden physiologische Abläufe durch die Kochsalzkonzentration in Körperflüssigkeiten von Tieren und Menschen beeinflusst (Schumacher, Beyer-Sehlmeyer, Henrich, Polte, Stockey & Wilde, S. 97–106 in diesem Heft).

Um die Konzentration von Stoffen zu bestimmen, können deren konzentrationsabhängige Eigenschaften herangezogen werden. Für Kochsalzlösungen bieten sich unter anderem osmotischer Druck oder elektrische Leitfähigkeit an sowie die in diesem Beitrag vorgestellte Bestimmung der Konzentration über die Dichte bzw. über die Masse des Rückstands nach Eindampfen der Kochsalzlösung. Die Bestimmung der Konzentrationen gelingt nur, wenn die eingesetzten Verfahren objektive und reproduzierbare Ergebnisse liefern. Durch den Vergleich der hier eingesetzten Unterscheidungsmöglichkeiten nach dem Erheben eigener empirischer Daten kann zum einen das prinzipielle Vorgehen bei der Konzentrationsbestimmung erfahrbar gemacht werden, und zum anderen können Qualitätsmerkmale wissenschaftlichen Arbeitens thematisiert werden.

2 Unterscheidung von Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentrationen

2.1 Qualitätsmerkmale naturwissenschaftlicher Untersuchungen

Naturwissenschaftliche Untersuchungen müssen objektiv und reproduzierbar sein (Demtröder, 1998). Ferner muss das Ergebnis der Untersuchung auch geeignet sein, um die gestellte Fragestellung beantworten zu können, d.h., die Genauigkeit der Methode muss zur gestellten Frage passen. Bei der naheliegenden Unterscheidung von Kochsalzlösungen durch Schmecken ist eine quantitative Bestimmung der Konzentration ausgeschlossen. Eine qualitative Einordnung ist zwar möglich; allerdings wird diese durch einen möglichen Reihenfolgeeffekt beim Schmecken erschwert und ist damit anfällig für das Auftreten von unterschiedlichen Ergebnissen bei Wiederholungen. Die Kriterien für wissenschaftliche Untersuchungen können demzufolge durch Schmecken nicht erfüllt werden. Zum Erlangen von objektiven und quantitativen Resultaten müssen Messverfahren verwendet werden, die vom messenden Subjekt unabhängig sind, unter identischen Bedingungen das gleiche Resultat liefern und somit eine Reproduzierbarkeit von Messergebnissen gewährleisten. Aufgrund von zufälligen Messabweichungen dürfen dabei einzelne Messwerte vom Mittelwert der vorangegangenen Messungen gemäß der Normalverteilung abweichen (Gränicher, 1994). Liegt ein Messwert allerdings außerhalb eines bestimmten Konfidenzintervalls, so muss dieser als Ausreißer betrachtet werden. Für ein Konfidenzintervall von 95 Prozent entspricht dies einem Abstand vom etwa Doppelten der Standardabweichung der Grundgesamtheit: $\mu \pm 1,96 \sigma$. Eine aussagekräftige Messmethode liefert Messwerte, deren Verteilung schmal ist und damit eine geringe Standardabweichung aufweist.

Für die Standardabweichung von Stichproben ist die Berechnung des Vertrauensintervalls aufgrund von notwendigen Korrekturen in Abhängigkeit des Stichprobenumfangs aufwendiger (Cloodt, 2018). Im Rahmen des unterrichtspraktischen Vorhabens wird auf diesen Umstand hingewiesen, für die konkrete Berechnung allerdings die Grundgesamtheit unterstellt und damit in der oben beschriebenen Weise vorgegangen.

2.2 Bestimmungsmethoden der Konzentration

Eine Methode zur Feststellung der Konzentration von Kochsalzlösungen stellt das Eindampfen der Lösung dar, um die Stoffmenge des zuvor gelösten Stoffes zu bestimmen. Diese Vorgehensweise bietet sich an, da die Angabe von Konzentrationen häufig über den Massenanteil einer Substanz an der Gesamtmasse des Gemisches erfolgt. Für Kochsalzlösungen bezieht man die Masse des gelösten Kochsalzes $m(\text{NaCl})$ auf die Masse der Lösung $m(\text{Lösung})$ (Mortimer, 1996). Für den prozentualen Massenanteil w gilt:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{Lösung})} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Nach Gleichung (1) lässt sich die Konzentration berechnen, sofern die Massen $m(\text{NaCl})$ und $m(\text{Lösung})$ bekannt sind. $m(\text{Lösung})$ ist unmittelbar durch eine Wägung zugänglich. $m(\text{NaCl})$ kann nach dem Eindampfen über die Masse des Rückstands bestimmt werden. Nach Gleichung (1) nimmt die Konzentration mit $m(\text{NaCl})$ linear zu, was eine eindeutige Zuordnung der Konzentration über die Masse des Rückstands innerhalb des Löslichkeitsbereichs ermöglicht.

Eine weitere Methode der Konzentrationsbestimmung kann über die Dichte ρ erfolgen. ρ ist definiert als das Verhältnis der Masse m des Stoffes zu seinem Volumen V . Es gilt:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Die Dichte von Wasser beträgt bei 20,0° C $\rho(\text{Wasser}) = 998,23 \text{ kg/m}^3$ (Latscha, Klein & Mutz, 2011; Wagner & Pruß, 1995). Von Kochsalz beträgt die Dichte bei der gleichen Temperatur $\rho(\text{NaCl}) = 2170 \text{ kg/m}^3$ (Seinacht, 2017). Die Zunahme der Dichte von Kochsalzlösungen ist allerdings nicht über eine simple Rechnung zugänglich (Schmidt, 1890). Das Salz geht in Lösung über, indem die Wassermoleküle Kraft auf die im Kristallgitter gebundenen Ionen ausüben und unter Aufwendung von Arbeit aus der Gitterstruktur herausgelöst werden. Die entfernten Ionen werden ihrerseits von Wassermolekülen umgeben (Stiller, Beyer-Sehlmeyer, Friedrich, Stockey & Allmers, S. 67–79 in diesem Heft). Hierdurch stehen sich die beteiligten Wassermoleküle räumlich näher (Acker et al., 2017). Die Abhängigkeit der Dichte von der Konzentration ist über entsprechende Messungen mit Lösungen bekannter Konzentrationen zugänglich. Sie steigt bis zum Überschreiten der Löslichkeit linear mit der Konzentration an (Nikolskij, 1964). Bei bekannter Temperatur der Lösung erlaubt damit die Dichte einen Rückschluss auf die Konzentration der Lösung.

2.3 Vergleich der Bestimmungsmethoden

Beide genannten Methoden eignen sich zur quantitativen Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen, und für beide Methoden sind die benötigten Größen durch objektive Messungen zugänglich. Die prinzipielle Vorgehensweise unterscheidet sich zwischen den Methoden allerdings deutlich, wodurch ein breiter Zugang für die Einführung in naturwissenschaftliche Charakterisierungsmethoden möglich wird. Während die erste Methode eine direkte Bestimmung der Konzentration über die Gleichung (1) zulässt, birgt sie auch das Risiko, dass beim Verdampfen des Lösungsmittels das vorher gelöste Kochsalz mitgerissen wird, was einen systematischen Fehler zur Folge hätte. Zusätzlich steht die Probe nach dem Eindampfen nicht für weitere potentielle Untersuchungen zur Verfügung.

Die zweite Methode erfordert zur Bestimmung unbekannter Konzentrationen die Erstellung einer Kalibrierkurve. Dies ist zwar aufwendig und es muss auch darauf geachtet

werden, dass die zu charakterisierende Probe die gleiche Temperatur hat, wie die Lösungen zur Erstellung der Kalibrierkurve hatten. Allerdings bleibt die Probe auch nach der Charakterisierung für eventuell weitere Untersuchungen erhalten. Die Bestimmung der Konzentration über die Kalibrierkurve benötigt keine theoretische Grundlage für deren Berechnung oder ein Verständnis der zu vergleichen Größen. Damit ist das Arbeiten mit Kalibrierkurven ein allgemeiner und anwendungsorientierter Ansatz, der sich in dem weiteren unterrichtspraktischen Vorgehen leicht vertiefen lässt (z.B. Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft; Allmers, Beyer-Sehlmeyer, Schuhmacher, & Wilde, S. 80–96 in diesem Heft).

3 Das Schülereperiment und methodische Aspekte

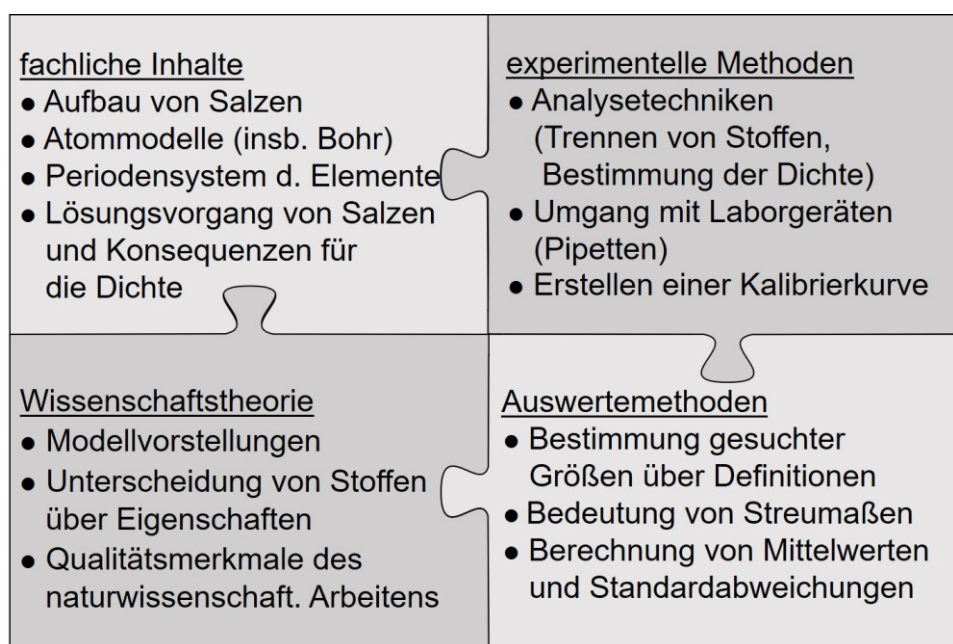


Abbildung 1: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte und Kompetenzen (eigene Darstellung)

3.1 Zeitplanung / Unterrichtsplanung

Für die Unterrichtseinheit (vgl. Abb. 1) ergibt sich in ihrer Grundkonzeption ein Zeitaufwand von sieben Doppelstunden. Neben der Planung und Durchführung eines Experiments zur Bestimmung der Konzentration von Kochsalzlösungen werden statistische Hilfsmittel zur Auswertung von Daten erlernt und durch die Auswertung der erhobenen Daten zur Anwendung gebracht. Wissenschaftstheoretische Aspekte ergeben sich aus der Reflexion der Qualitätsmerkmale zu den durchgeführten Untersuchungsmethoden zum Abschluss der Unterrichtseinheit.

Der Einstieg in die Unterrichtseinheit stellt die Diskussion über unterschiedliche Charakterisierungsmethoden von Proben dar. Hierzu werden in einem Vorversuch Kochsalzlösungen in Lebensmittelqualität von den Schüler*innen in Partnerarbeit durch Schmecken untersucht. Ziel ist dabei die Aufdeckung von Schwierigkeiten, die sich bei der qualitativen und quantitativen Abschätzung der Kochsalzkonzentration ergeben. In einem sich anschließenden Unterrichtsgespräch sollen die Notwendigkeit für Untersuchungsmethoden, die objektive und reproduzierbare Ergebnisse liefern, und erste Alternativvorschläge zur Unterscheidung von Kochsalzlösungen anhand von Anwendbarkeit

und Genauigkeit diskutiert werden. Im Vorfeld ist es notwendig, den Begriff der Konzentration und die Berechnung des prozentualen Massenanteils nach Gleichung (1) zu erörtern.

Neben der Bestimmung der Konzentration über die Rückstandsmasse und über die Dichte werden noch andere Methoden von den Schüler*innen genannt, die zwar im Prinzip auch richtig sind, aber zu einem späteren Zeitpunkt Anwendung finden können (z.B. elektrische Leitfähigkeit) oder einen zu großen apparativen Aufwand bedeuten (z.B. exakte Bestimmung des Siedepunkts oder Gefrierpunkts).

Für das zu planende Experiment kann durch ein geleitetes Unterrichtsgespräch die Fragestellung „Wie gelingt eine objektive und verlässliche Unterscheidung von Kochsalzlösungen hinsichtlich ihrer Konzentration?“ herausgearbeitet werden. Für die Merkmale Masse des Rückstands und Dichte der Lösung bieten sich die Hypothesen „Eine objektive und verlässliche Unterscheidung von Kochsalzlösungen hinsichtlich ihrer Konzentration gelingt über die Masse des Rückstands“ bzw. „[...] über die Dichte der Lösung“ an. Die notwendige Voraussetzung für die eindeutige Unterscheidung ist durch die lineare Abhängigkeit gegeben und für die Schüler*innen naheliegend, wodurch eine entsprechende Begründung der Hypothesen möglich ist. In empirischen Untersuchungen bestimmen die Schüler*innen die Zuverlässigkeit der entsprechenden Methoden zur Konzentrationsbestimmung, indem sie Kochsalzlösungen mit bekannter Konzentration charakterisieren. Nach Auswertung und nach Auffinden des Zusammenhangs zwischen Konzentration und Dichte wird durch die Lehrkraft eine Fragestellung zur Zuordnung von Salzwasserproben aus einem Gewässer aufgeworfen. Die Schüler*innen führen zu zweit beide Methoden zur Konzentrationsbestimmung der unbekanntes Kochsalzlösungen durch. Dadurch wird es möglich, die Methoden hinsichtlich ihrer Aussagekraft zu vergleichen.

Um für beide Methoden möglichst genaue Resultate zu erzielen, muss zunächst der Umgang mit den Laborgeräten geübt werden (vgl. Online-Supplement, Material 3). Speziell der Einsatz einer Vollpipette zur möglichst genauen Bestimmung von Flüssigkeitsvolumina sollte im Vorfeld der eigentlichen Messungen geübt werden. Neben einer Reduzierung von Fehlerquellen kann dadurch zusätzlich eine kognitive Entlastung bei der Durchführung des Experiments erreicht werden (*cognitive load theory*; Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998).

3.2 Methodische Einbindung

Gemäß der Kompetenztreppe (Stiller, Stockey et al., eingereicht; Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft) finden im Rahmen des Kurskonzeptes die meisten Entscheidungen zum experimentellen Vorgehen in einer Schüler*innen-Lehrer*innen-Interaktion statt (vgl. Online-Supplement, Material 1). Die Festlegung des Stichprobenumfangs liegt, wie die spätere Erhebung und Beschreibung der Ergebnisse, größtenteils in der Hand der Schüler*innen. Aufgrund der angestrebten Auswertung mit Bestimmung des Mittelwerts und Berechnung des zugehörigen Standardfehlers (Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht) für die Daten der gesamten Lerngruppe werden durch die Schüler*innen zusammen mit der Lehrkraft die erforderlichen Vereinheitlichungen in einer gemeinsamen Experimentieranleitung erreicht (für ein Beispiel zur Experimentieranleitung siehe Online-Supplement, Material 4 und 6). Die im Experiment durch die Partnerarbeit erhobenen Daten werden für weitere Auswertungen der gesamten Lerngruppe, z.B. durch das Aushängen der erstellten Wertetabelle, zugänglich gemacht.

Durch die Auswertung im vorangegangenen Experiment ist den Schüler*innen die sachgerechte Angabe von empirischen Daten durch signifikante Stellen bekannt (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Hier erfolgt die eigenständige Vertiefung dieser Kenntnisse. Für die korrekte Auswertung der Daten werden die Schüler*innen mit einem Arbeitsblatt (vgl. Online-Supplement, Material 5 und 7) unterstützt. Die Berechnung des Standardfehlers wird in dieser Unterrichtseinheit eingeführt, geübt und anhand der erhobenen

Daten gemeinsam mit den Schüler*innen durchgeführt. Die Mittelwerte werden mit dem dazugehörigen Standardfehler mittels Fehlerbalken in die entsprechenden Diagramme eingetragen, und der Verlauf der Datenpunkte wird durch Ausgleichsgerade modelliert. Für die Beurteilung der Qualität der Messergebnisse in Abhängigkeit von der eingesetzten Methode ist die Nutzung von Literaturwerten bezüglich der Dichten von Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentrationen bei der entsprechenden Temperatur notwendig. Zu diesem Zeitpunkt steht die eigenständige Recherche von Literaturwerten im Kurs noch nicht im Fokus (Stiller, Allmers et al., eingereicht; Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft). Die Daten werden den Schüler*innen entsprechend zur Verfügung gestellt. Um die Salzwasserproben unbekannter Konzentration den analogen Gewässern zuzuordnen zu können, wird den Schüler*innen eine entsprechende Auswahl an Gewässern zur Verfügung gestellt (vgl. Online-Supplement, Material 8).

3.3 Durchführung und Auswertung

Die Durchführung der praktischen Arbeitsphasen der Unterrichtseinheit beinhaltet eine subjektive und zwei objektive Methoden zur Charakterisierung von Kochsalzlösungen hinsichtlich ihrer Konzentration. Um den Vergleich der Methoden zu ermöglichen, werden für die Durchführung jeweils die gleichen bekannten bzw. unbekannt Konzentrationen verwendet (für Beispiele siehe Abb. 2 und 3). Um die Methoden in einen naturwissenschaftlichen Anwendungsbezug einzubinden, orientieren sich die Proben unbekannter Konzentration an Salzkonzentrationen von Meeren und Binnenseen.

Infobox 1:	Kochsalzlösungen bekannter Konzentrationen (gegeben in prozentuaalem Massenanteil)
<u>Hinweis:</u>	Die Konzentrationen der Kalibrierlösungen decken idealerweise den Bereich der Lösungen unbekannter Konzentration ab. Hier werden die folgenden Konzentrationen verwendet: 0,0 % / 4,0 % / 8,0 % / 12,0 % / 16,0 % / 20,0 % / 24,0 %

Abbildung 2: Infobox für Kochsalzlösungen bekannter Konzentrationen (eigene Darstellung)

Infobox 2:	Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration. Die Angaben in Klammern beziehen sich auf den prozentualen Massenanteil der tatsächlich angesetzten Kochsalzlösung.
<u>Hinweis:</u>	Für die Einschätzung der Aussagekraft zur Unterscheidung von Kochsalzproben sind zwei Konzentrationen so zu wählen, dass diese eng beieinanderliegen (hier: Nordsee und Mittelmeer).
<u>Meere:</u>	Gotlandsee (Ostsee) (0,8 %), Nordsee (3,4 %) und Mittelmeer (3,6 %)
<u>Binnensee:</u>	Kaspisches Meer (West-Asien) (1,3 %), Qarun-See (Ägypten) (10,6 %), Urmiassee (Iran) (18,0 %) und Totes Meer (21,9 %)

Abbildung 3: Infobox für Kochsalzlösungen unbekannter Konzentrationen (eigene Darstellung)

3.3.1 Vorversuch zur Bestimmung der Zuverlässigkeit und Verlässlichkeit der Methoden

In einem Vorversuch wird zunächst durch eine subjektive Methode der Versuch einer Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen unternommen (für Ziele und Materialien siehe Abb. 4). Hierfür werden in Partnerarbeit durch Schmecken die Konzentrationen *qualitativ* bestimmt, indem i) eine Rangfolge (von „schwach salzig schmeckend“ zu „stark salzig schmeckend“) erstellt wird und ii) durch Abschätzen der Konzentration die Proben (wie z.B. Probe B „dreimal so salzig“ wie Probe C) in einen relativen Bezug gebracht werden (vgl. Online-Supplement, Material 2). Als Proben kommen dafür die gleichen Konzentrationen wie für die späteren Kalibrierlösungen (siehe Abb. 4) zum Einsatz. Auf diese Weise kann von den Schüler*innen die Zuverlässigkeit dieser subjektiven Methode bewertet werden. Um die Zuverlässigkeit der *quantitativen* Ermittlung der Konzentration einschätzen zu können, werden zunächst Messungen an Lösungen mit bekannter Konzentration durchgeführt (siehe auch Abb. 5 auf der folgenden Seite). Zur Bestimmung der Masse der Kochsalzlösung muss zunächst die Masse des Becherglases bekannt sein. Nach Zugabe eines definierten Volumens (hier 50,00 mL) an zu untersuchender Lösung wird die Masse des Becherglases mit Inhalt erneut bestimmt. Anschließend wird das Lösungsmittel verdampft, um die Masse des zuvor gelösten Kochsalzes über eine erneute Wägung des Becherglases zu ermitteln. Zentral für die Auswertung der beiden objektiven Methoden sind zwei Diagramme: i) die Masse des Rückstands und ii) die Dichte der Kochsalzlösung, jeweils in Abhängigkeit von der eingesetzten Konzentration (für typische Ergebnisse siehe Abb. 7 und 8 auf S. 62).

Infobox 3:	Vorversuch zur subjektiven Bestimmung der Konzentration von Kochsalzlösungen
<u>Ziel:</u>	Verdeutlichung der Notwendigkeit objektiver Unterscheidungsmerkmale für Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentrationen
<u>Geräte:</u>	lebensmittelechte Trinkgefäße, Trinkhalme (als Pipette) zur Entnahme eines geringen Volumens für eine Geschmacksprobe
<u>Chemikalien:</u>	7 Kochsalzlösungen mit für die Schüler*innen zunächst unbekanntem Konzentrationen (hier im Bereich von 0,0 bis 24,0 %), hergestellt mit Leitungswasser und Kochsalz in Speisemittelqualität. Hier werden die folgenden Konzentrationen verwendet: 0,0 % / 4,0 % / 8,0 % / 12,0 % / 16,0 % / 20,0 % / 24,0 %

Abbildung 4: Infobox für den Vorversuch zur subjektiven Bestimmung der Konzentration von Kochsalzlösungen (eigene Darstellung)

Für den Verlauf der Datenpunkte im Diagramm „Konzentration–Rückstandsmasse“ kann die Ausgleichsgerade durch den Datenschwerpunkt und durch den Koordinatenursprung festgelegt werden (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Im Diagramm „Konzentration–Dichte“ der Lösung ist die Ausgleichsgerade durch den Datenschwerpunkt und den Literaturwert für das reine Lösungsmittelwasser als weiterem vertrauenswürdigen Punkt eindeutig festgelegt.

Zur Beurteilung der Qualität der Messergebnisse werden die zu erwartenden Werte für die Masse des Rückstands mit in das Diagramm „Konzentration–Rückstandsmasse“ eingetragen. Der Erwartungswert für die Rückstandsmasse kann prinzipiell über eine Rechnung aus den Literaturwerten der Dichte bestimmt werden. Im Sinne einer Entlastung von

diesen Rechnungen empfiehlt sich die Beurteilung der Qualität der Messung durch das Auftragen der bestimmten Konzentrationen in Abhängigkeit von den eingesetzten Konzentrationen, die in diesem Sinne als fehlerfrei betrachtet werden. Für die Beurteilung der Qualität der erhobenen Werte für die Dichte kann auf Literaturwerte zurückgegriffen werden, die in das Diagramm „Konzentration–Dichte“ mit eingetragen werden.

Infobox 4:	Durchführung der Untersuchungen mit Kochsalzlösungen bekannter Konzentration
<u>Ziele:</u>	Überprüfung der Verlässlichkeit der objektiven Methoden durch Einsatz von Kochsalzlösungen bekannter Konzentrationen Bestimmung der Dichte in Abhängigkeit von der Konzentration zur Erstellung einer Kalibrierkurve
<u>Geräte:</u>	100 mL Bechergläser, 50,00 mL Vollpipetten mit Peleusball (alternativ Standzylinder), Waage (Genauigkeit von 0,01 g bei der Verwendung von Vollpipetten bzw. 0,1 g bei der Verwendung von Standzylindern), Trockenschrank (alternativ Stellplätze auf Heizkörper)
<u>Chemikalien:</u>	7 Kochsalzlösungen bekannter Konzentration (hier im Bereich von 0,0 bis 24,0 %)

Abbildung 5: Infobox für die Durchführung der Untersuchungen mit Kochsalzlösungen bekannter Konzentration (eigene Darstellung)

3.3.2 Bestimmung von unbekannt Konzentrationen mithilfe von objektiven Methoden

Zur Bestimmung der Konzentration werden die Proben wie zuvor charakterisiert. Aus der Rückstandsmasse wird die Konzentration der Salzlösung berechnet. Die Dichte wird mithilfe der Kalibrierkurve zugeordnet (vgl. Abb. 6).

Infobox 5:	Durchführung der Untersuchungen mit Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration
<u>Ziele:</u>	Überprüfung der Aussagekraft der objektiven Methoden durch Einsatz von Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration Arbeiten mit Kalibrierkurven
<u>Geräte:</u>	100 mL Bechergläser, 50,00 mL Vollpipetten mit Peleusball (alternativ Standzylinder), Waage (Genauigkeit von 0,01 g bei der Verwendung von Vollpipetten bzw. 0,1 g bei der Verwendung von Standzylindern), Trockenschrank (alternativ Stellplätze auf Heizkörpern)
<u>Chemikalien:</u>	7 Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration (hier im Bereich von 0,8 bis 21,9 %) – gleiche Konzentrationen wie im Vorversuch (Infobox 3)

Abbildung 6: Infobox für die Durchführung der Untersuchungen mit Kochsalzlösungen unbekannter Konzentration (eigene Darstellung)

3.4 Mögliche Ergebnisse und ihre Dokumentation

3.4.1 Vorexperimente zur Bestimmung der Zuverlässigkeit und Verlässlichkeit der Methoden

Beim Vergleich der eingesetzten Konzentrationen mit der von den Schüler*innen durch Schmecken aufgestellten Rangfolge wird in der Regel deutlich, dass eine Diskrepanz zwischen beiden besteht. Eine relative Einschätzung der Salzkonzentration durch Geschmacksproben scheint demnach keine adäquate Methode zu sein, die objektive und zuverlässige Daten liefert.

Für die Auswertung der beiden objektiven Methoden werden die Mittelwerte und Standardfehler der Masse von 50,00 mL Lösung und der Masse des Rückstands für jede eingesetzte Kochsalzkonzentration berechnet. Hieraus ergibt sich nach Gleichung (1) der prozentuale Massenanteil und aus der Masse der Lösung und dem bekannten Volumen nach Gleichung (2) die Dichte der eingesetzten Kochsalzlösung (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Ergebnisse der Messungen an Proben mit bekannter Kochsalzkonzentration. Gegeben sind die Mittelwerte mit Standardfehler (eigene Berechnung)

Probe	Masse der Lösung (g)	Masse des Rückstands (g)	Konzentration (prozentualer Massenanteil)	Dichte (g/cm ³)
0,0 %	49,82 ± 0,00	-0,03 ± 0,01	-0,05 ± 0,01	0,9964 ± 0,0002
4,0 %	51,17 ± 0,03	2,12 ± 0,00	4,14 ± 0,01	1,024 ± 0,0008
8,0 %	52,75 ± 0,01	4,36 ± 0,02	8,26 ± 0,04	1,055 ± 0,0003
12,0 %	54,13 ± 0,04	6,59 ± 0,03	12,18 ± 0,05	1,083 ± 0,0008
16,0 %	55,70 ± 0,01	9,03 ± 0,02	16,21 ± 0,02	1,114 ± 0,0003
20,0 %	57,28 ± 0,01	11,56 ± 0,01	20,19 ± 0,02	1,146 ± 0,0002
24,0 %	58,82 ± 0,01	14,20 ± 0,02	24,14 ± 0,03	1,177 ± 0,0002

In Abbildung 7 auf der folgenden Seite sind die Mittelwerte für die Masse des Rückstands mit Standardfehler auf der linken Hochachse gegen die eingesetzten Konzentrationen aufgetragen (geschlossene Symbole). Der Verlauf der Datenpunkte lässt sich in guter Übereinstimmung durch eine Ausgleichsgerade modellieren (gestrichelte Linie).

Der Erwartungswert für die Masse der Rückstände ist im Diagramm durch eine durchgezogene Linie gekennzeichnet. Es zeigt sich, dass die Daten in Übereinstimmung mit dem Erwartungswert sind. Da die geringfügigen Abweichungen nach unten und nach oben auftreten, kann ein systematischer Fehler ausgeschlossen werden. In Ergänzung ist auf der rechten Hochachse die Konzentration aufgetragen, die sich aus dem bestimmten Rückstand berechnen lässt (offene Punkte). Auch hier ist die Lage der Punkte durch den Mittelwert für die bestimmten Konzentrationen mit dazugehörigen Standardfehlern gegeben. Die gepunktete Linie gibt den Verlauf der Erwartungswerte für die Konzentration wieder. Die bestimmten Konzentrationen sind in Übereinstimmung mit dem Erwartungswert.

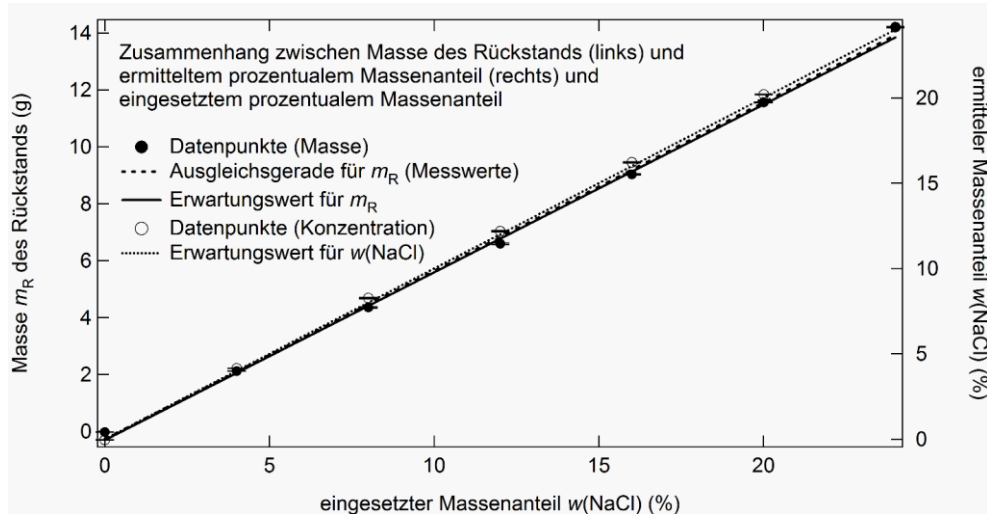


Abbildung 7: Diagramm zur Überprüfung der Qualität der Konzentrationsbestimmung über die Ermittlung der Rückstandsmasse. Die Messwerte für die Masse (geschlossene Punkte und linke Hochachse) sind in guter Übereinstimmung mit dem Erwartungswert. Entsprechendes gilt für den ermittelten Massenanteil (offene Punkte und rechte Hochachse mit der gepunkteten Gerade für den Erwartungswert des Massenanteils). (eigene Darstellung)

Abbildung 8 zeigt den Zusammenhang der Dichte mit der eingesetzten Konzentration. Die Mittelwerte für die Dichte sind durch Punkte und der Standardfehler durch die Fehlerbalken dargestellt. Die unterbrochene Linie ist die Ausgleichsgerade für die gemessenen Werte. Die durchgezogene Linie stellt die Ausgleichsgerade für die Literaturwerte (Nikolskij, 1964) dar. Die gemessenen Werte sind mit diesen in guter Übereinstimmung.

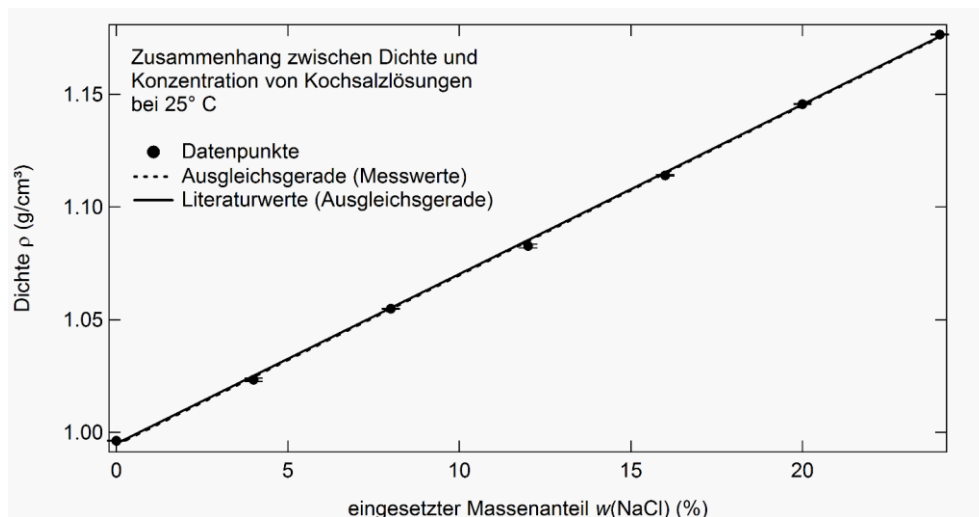


Abbildung 8: Diagramm zur Beurteilung der Qualität der Konzentrationsbestimmung über die Dichte einer Kochsalzlösung. Die Messwerte (geschlossene Punkte) sind in Übereinstimmung mit den Werten nach Nikolskij (1964) (durchgezogene Linie). (eigene Darstellung)

Zusammenfassend zeigt sich, dass die objektive Unterscheidung von Kochsalzlösungen mit unterschiedlicher Konzentration über konzentrationsabhängige Eigenschaften wie die Masse des gelösten Salzes und die Dichte gelingt. Beide Eigenschaften hängen linear von der Konzentration ab und liefern damit eindeutige Ergebnisse. Ein Vergleich mit der

eingesetzten Konzentration und mit Literaturwerten zeigt, dass die hier durchgeführten Messungen in guter Übereinstimmung sind. Die Streuung der Daten bezogen auf den Mittelwert ist klein. Beide Methoden zur Bestimmung der Konzentration der Kochsalzlösung sind damit verlässlich. Die aufgestellten Hypothesen „Eine objektive und verlässliche Unterscheidung von Kochsalzlösungen hinsichtlich ihrer Konzentration gelingt über die Bestimmung des Rückstands“ bzw. „[...] über die Dichte der Lösung“ können damit angenommen werden.

3.4.2 Ergebnisse zur Untersuchung der unbekannt Konzentrationen

Die Konzentration der Proben, deren Salzkonzentrationen verschiedenen Meeren und Binnenseen nachempfunden wurden, wird aus den Mittelwerten und Standardfehlern der Rückstandsmassen und Dichten der Proben bestimmt. Es zeigt sich, dass die berechneten Konzentrationen in guter Übereinstimmung mit den Konzentrationen der eingesetzten Kochsalzlösungen sind (vgl. Tab. 2 auf der folgenden Seite). Zur Bestimmung der Konzentration über die Dichte ist die Verwendung einer Kalibrierkurve erforderlich, wie sie sich aus der Auftragung, die in Abbildung 8 gezeigt wird, ergibt. Zum Auffinden der Konzentration wird der Punkt auf der Ausgleichsgerade gesucht, der als eine Koordinate den Mittelwert der ermittelten Dichte enthält (vgl. Abb. 9). Die zugehörige Konzentration lässt sich anhand einer Linie durch diesen Punkt parallel zu der Hochachse bestimmen. Die Unsicherheit der Konzentrationsbestimmung lässt sich erfassen, indem der zuvor durch den Mittelwert bestimmte Punkt so weit parallel zur Rechtsachse verschoben wird, dass die Fehlerbalken gerade noch die Ausgleichsgerade in einem Punkt berühren. Dadurch gelingt die Bestimmung der minimalen und maximalen Konzentration, die mit dem Standardfehler der Dichte gerade noch verträglich sind.

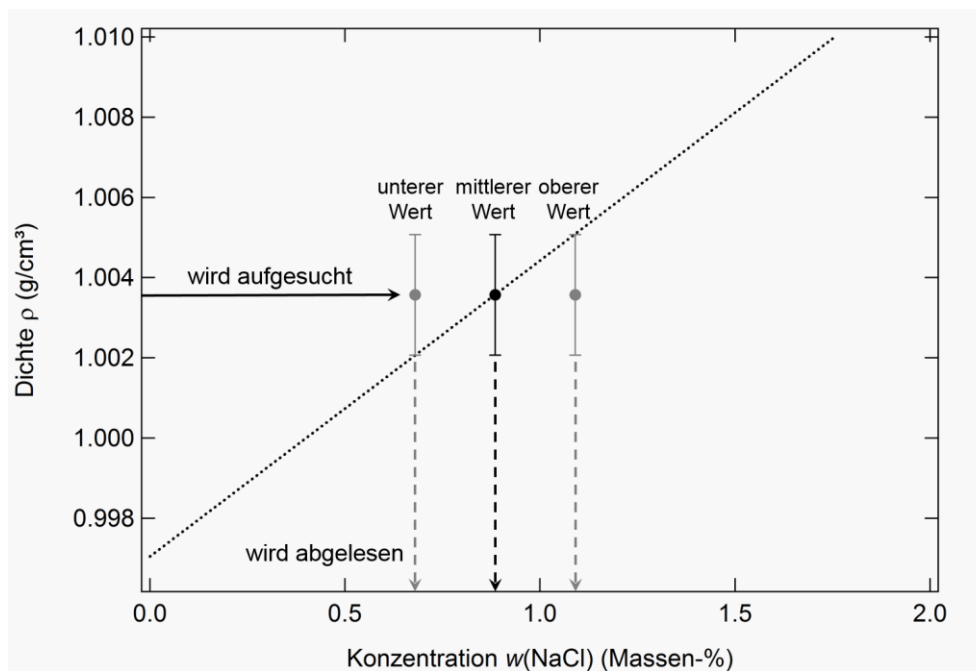


Abbildung 9: Illustration zum Auffinden der Konzentration zu einer gegebenen Dichte unter Berücksichtigung der Fehlerbalken. Gezeigt wird ein fiktiver Messwert mit großem Standardfehler. (eigene Darstellung)

Die Bestimmung der Konzentration über die Masse des Rückstands liefert Werte, die eine geringere Streuung aufweisen als die Bestimmung über die Dichte. Zusätzlich sind

diese Werte auch größtenteils in besserer Übereinstimmung mit den tatsächlichen Werten. Die Abweichungen nach oben wie nach unten zeigen, dass augenscheinlich kein systematischer Fehler vorliegt.

In beiden Fällen ist die Aussagekraft hinsichtlich der Zuordnung der Konzentrationen zu einem möglichen Gewässer gegeben (vgl. hierzu auch Online-Supplement, Material 8). So gelingt beispielsweise die sichere Unterscheidung zwischen den nachempfundenen Nordseewasserproben und Mittelmeerwasserproben, da die jeweiligen Abstände zu den bestimmten Mittelwerten in beiden Fällen deutlich größer sind als die jeweiligen Standardfehler für die Konzentrationen.

Tabelle 2: Vergleich der Methoden zur Konzentrationsbestimmung

Probe	prozentualer Massenanteil (in %) ermittelt über die Massen der Lösungen und der Rückstände	prozentualer Massenanteil (in %) ermittelt über die Dichte	Zuordnung zu den Gewässern (Angabe in Klammern gibt den eingesetzten prozentualen Massenanteil an)
Probe A	0,79 ± 0,004	0,88 ± 0,03	Ostsee (0,8 %)
Probe B	1,31 ± 0,004	1,30 ± 0,03	Kaspisches Meer (1,3 %)
Probe C	3,48 ± 0,01	3,35 ± 0,04	Nordsee (3,4 %)
Probe D	3,62 ± 0,01	3,56 ± 0,03	Mittelmeer (3,6 %)
Probe E	10,67 ± 0,02	10,50 ± 0,03	Qarun-See (10,6 %)
Probe F	18,13 ± 0,02	18,40 ± 0,09	Urmiassee (18,0 %)
Probe G	22,04 ± 0,02	22,43 ± 0,04	Totes Meer (21,9 %)

4 Anregungen zur Reflexion und Ausblick

Um die zentralen Qualitätsmerkmale „Objektivität“, „Zuverlässigkeit“ und „Aussagekraft“ für naturwissenschaftliche Untersuchungen erfahrbar zu machen, werden Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentration durch verschiedene Methoden charakterisiert. Durch einen Vorversuch wird den Schüler*innen bewusst, dass subjektive Untersuchungsmethoden keine zuverlässigen Daten liefern. Die eingesetzten objektiven Untersuchungsmethoden liefern hingegen zuverlässige Messwerte, die sich durch statistische Verfahren hinsichtlich ihrer Reproduzierbarkeit überprüfen lassen. Die Aussagekraft der objektiven Methoden wird durch die Unterscheidung von Kochsalzlösungen mit ähnlicher Konzentration geprüft.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Methoden sind zum einen um die Anwendung von weiteren objektiven Merkmalen zur Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen (Allmers et al., S. 67–79 in diesem Heft) und zum anderen durch die Betrachtung der Signifikanz bzw. Irrtumswahrscheinlichkeit erweiterbar (Stiller, Allmers et al., eingereicht).

Neben empirischen Daten mit hoher Qualität sind auch Modelle für naturwissenschaftliches Arbeiten entscheidend. Dies wird in diesem Beitrag durch die Modellvorstellung beim Lösen von Salzen in Wasser illustriert. Für eine tiefere Betrachtung zum Aufbau von Salzen und ihrem Lösen in Wasser wird auf Stiller, Beyer-Sehlmeyer et al. (S. 67–79 in diesem Heft) verwiesen.

Literatur und Internetquellen

- Acker, A., Bremer, H., Dannecker, W., Däßler, H.-G., Dreier, C.-S., Engelhardt, U.H., et al. (1998). *Lexikon der Chemie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Allmers, T., Beyer-Sehlmeyer, G., Schumacher, F., & Wilde, M. (2020). Ionenwanderungen in Kochsalzlösungen: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 80–96. <https://doi.org/10.4119/pflb-3306>
- Cloodt T. (2018). *Der Vertrauensbereich für den Mittelwert*. Zugriff am 03.02.2020. Verfügbar unter: https://www.cloodt.de/pdf_archiv/1vertrau.pdf.
- Demtröder, W. (1998). *Experimentalphysik I*. Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08598-1>
- Gränicher, H. (1994). *Messung beendet – was nun?* Stuttgart: Teubner.
- Haunhorst, D., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Die Ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 107–116. <https://doi.org/10.4119/pflb-3308>
- Latscha, H.P., Klein, H.A., & Mutz, M. (2011). *Allgemeine Chemie. Springer-Lehrbuch*. Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17523-7>
- Mortimer, C.E. (1996). *Chemie* (6. Ausgabe). Stuttgart: Thieme.
- Nikolskij, B.P. (Hrsg.). (1964). *Spravochnik khimika* [A Chemist Handbook], Bd. III. Moscow & Leningrad: Khimiya.
- Schmidt, G.C. (1890). Über die Volumenänderung beim Lösen von Salzen in Wasser. *Monatshefte für Chemie und verwandte Teile anderer Wissenschaften*, 11, 35–36. <https://doi.org/10.1007/BF01540716>
- Schumacher, F., Beyer-Sehlmeyer, G., Henrich, S., Polte, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 97–106. <https://doi.org/10.4119/pflb-3307>
- Seilnacht, T. (2017). *Natriumchlorid NaCl*. Zugriff am 05.05.2019 Verfügbar unter: http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_nacl.htm.
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Beyer-Sehlmeyer, G., Friedrich, G., Stockey, A., & Allmers, T. (2020). Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 67–79. <https://doi.org/10.4119/pflb-3305>
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung. Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (2020). Vom Konzept in den Unterricht: Wie geht es nach der Entwicklung und Erprobung des Kurskonzeptes *Basiskurs Naturwissenschaften* weiter? *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenbildung*, 2 (2), 17–27. <https://doi.org/10.4119/pflb-3301>

- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G., & Paas, F.G.W.C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10 (3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Wagner, W., & Pruß, A. (1995). The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 31, 387. <https://doi.org/10.1063/1.1461829>

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

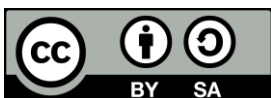
Allmers, T., Stiller, C., & Wilde, M. (2020). Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (1), 53–66. <https://doi.org/10.4119/pflb-3304>

Online-Supplement:

Materialien zur Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>