

Einführung in das Ionenkonzept mit der Lernleiter

Ein Unterrichtsansatz für den strukturierten und binnendifferenzierten Chemieunterricht der Sekundarstufe I

HELENA VAN VORST, ELKE WOLF

Salze spielen in unserem täglichen Leben eine wichtige Rolle. Sie übernehmen nicht nur viele lebenswichtige Funktionen im menschlichen Körper, sondern finden darüber hinaus auch vielseitige Verwendung, beispielsweise in der Landwirtschaft und in der Industrie. Um die besonderen Eigenschaften und Funktionen von Salzen in den unterschiedlichen Lebensbereichen verstehen zu können, müssen Schülerinnen und Schüler ihren strukturellen Aufbau auf submikroskopischer Ebene durchdringen und auf makroskopische Phänomene ihrer Lebenswelt anwenden können. Hierbei haben Schülerinnen und Schüler am Ende der Sekundarstufe I jedoch vielfache Schwierigkeiten.

Aus diesem Grund war es das zentrale Ziel der SINUS-Projektgruppe, ein Konzept zur systematischen Einführung in das Thema *Ionen und Salze* für den Chemieunterricht der Sekundarstufe I zu entwickeln, das einen strukturierten und kumulativen Wissensaufbau ermöglicht und die individuellen Voraussetzungen und Bedarfe der Lernenden durch ein binnendifferenziertes Materialangebot berücksichtigt. Als Grundlage für die Arbeit in der Projektgruppe wurde das sogenannte *Lernleiter-Konzept* genutzt, das ein Rahmenkonzept zur Strukturierung von Lehr- und Lernprozessen darstellt. Neben einer angemessenen Förderung der Kompetenzentwicklung im Bereich Fachwissen lag bei der Entwicklung der Lehr-Lernmaterialien für die Ionen-Lernleiter ein besonderes Augenmerk auf der systematischen und differenzierten Unterstützung der Schülerinnen und Schüler im Verständnis von und im Umgang mit Modellen im Chemieunterricht. So konnte eine strukturierte Unterrichtseinheit zur Einführung des Ionenkonzepts für die Sekundarstufe I entwickelt werden.

1 Projektbeschreibung und Zielsetzung

Ionen und Salze im Chemieunterricht der Sekundarstufe I

Ein wesentliches Ziel des Chemieunterrichts deutschlandweit ist es, ein Verständnis für den Aufbau und die Struktur der Materie bei den Schülerinnen und Schülern zu entwickeln. Diese Zielsetzung wurde u. a. bei der Formulierung der Basiskonzepte in den nationalen Bildungsstandards und den landesweiten Kernlehrplänen verankert. Im Kernlehrplan der Sekundarstufe I am Gymnasium des Landes Nordrhein-Westfalen wird innerhalb des Basiskonzepts *Struktur der Materie* der Grundstein für das Verständnis der Lernenden zum submikroskopischen Aufbau der makroskopisch wahrnehmbaren Welt zunächst anhand einer einfachen Teilchenvorstellung im Chemieanfangsunterricht gelegt. Im weiteren Verlauf der Sekundarstufe I wird dieses Verständnis durch zunehmend komplexere Atommodelle, wie das Kern-Hülle-Modell und das Schalenmodell, ausdifferenziert (MSB, 2019). Gleichzeitig wird auch der

Teilchenbegriff durch die Unterscheidung in Atome, Moleküle und Ionen ausgearbeitet. Die Einführung der Ionen ist dabei im Inhaltsfeld 6 unmittelbar nach der Erarbeitung eines differenzierten Atombegriffs und der Struktur des Periodensystems der Elemente vorgesehen. Hierbei legt der Kernlehrplan zwei wesentliche inhaltliche Schwerpunkte: Zum einen sollen durch die Einführung der *Ionenbindung* charakteristische Eigenschaften der Salze erklärt werden, zum anderen wird anhand der *Ionenbildung* die Reaktion zwischen Metallen und Nichtmetallen als neuer Reaktionstyp eingeführt.

Folgt man dem weiteren Verlauf der Inhaltsfelder des Kernlehrplans für die Sekundarstufe I sowie des Kernlehrplans für die Sekundarstufe II, zeigt sich die Anwendung des Ionenkonzepts an zahlreichen weiteren Stellen, wie z. B. im Bereich der Elektrochemie oder der Säuren und Basen. Das Verständnis sowohl der Ionenbindung als auch der Ionenbildung stellt somit eine wichtige Grundlage für den weiteren kumulativen Wissensaufbau im Chemieunterricht über die gesamte Schulzeit dar.

Nicht zuletzt aufgrund dieser Relevanz des Themas *Ionen und Salze* ist dieses im SI-Unterricht aller Bundesländer verpflichtend. Gleichzeitig ist es für die Schülerinnen und Schüler kein einfaches Thema und birgt einige Stolperfallen (Nickel, 2015). Untersuchungen zeigen, dass Schülerinnen und Schüler kaum Vorwissen über Ionen haben und entsprechende Begriffe, Konzepte und Modelle somit erst im Unterricht entwickeln (Hilbing & Barke, 2004). Man könnte vermuten, dass diese Ausgangslage besonders günstig für den Erwerb eines fachlich korrekten Konzeptverständnisses sei, da keine alternativen und möglicherweise fachlich falschen Vorstellungen der Lernenden korrigiert werden müssen. Doch das Gegenteil ist der Fall: Im Verlauf des regulären Unterrichts zum Thema *Ionen und Salze* entwickeln viele Lernende fehlerhafte Vorstellungen zum Ionenbegriff. Typische alternative Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zum Ionenkonzept fasst Strehle (2007) zusammen:

- Ionenpaare bestehen aus Salzmolekülen: Einige Lernende nehmen an, dass eine Molekülpaarbindung zwischen dem positiv und dem negativ geladenen Ion entsteht. Ein Salzkristall besteht dann aus Verbänden solcher Salzmoleküle.
- Ionenbindungen entstehen durch einen Elektronentransfer: Hierbei wird das Konzept der Ionenbildung mit dem Konzept der Ionenbindung vermischt und die Entstehung eines Salzkristalls durch einen Elektronenübergang erklärt.
- Die Anzahl der Bindungspartner eines Ions in einem Salzkristall wird durch die Oktett-Regel oder die Anzahl der Ladungen eines Ions bestimmt: Im Rahmen dieser Vorstellung zeigen einige Lernende kein hinreichendes Verständnis der räumlichen Struktur innerhalb eines Salzkristalls einerseits sowie der elektrostatischen Anziehungskräfte andererseits, die eine Ionenbindung eigentlich ausmachen.

Insgesamt zeigt die Forschung zu Schülervorstellungen zum Ionenkonzept, dass Lernende gerade auf der Modellebene Schwierigkeiten haben, Ionen richtig darzustellen, sie von Molekülen zu unterscheiden und den Prozess der Ionenbildung von den Eigenschaften der Ionenbindung abzugrenzen (Barke, 2006). Aus Zeitgründen oder einem persönlichen fachlichen Selbstverständnis heraus versäumen es viele Lehrkräfte, ein reflektiertes Modellverständnis der unterschiedlichen Ionendarstellungen zu erarbeiten und damit zu einem anschlussfähigen Aufbau von Modellkompetenz im Bereich der Ionenbindung und

Ionenbildung beizutragen. Das im Rahmen der SINUS-Gruppe entwickelte Unterrichtskonzept greift diese Problemlage auf und bietet ein systematisches Vorgehen zur Erarbeitung des Ionenkonzepts unter Berücksichtigung typischer Schülervorstellungen und der reflektierten Nutzung unterschiedlicher Modelle zur Verdeutlichung der submikroskopischen Zusammenhänge.

Zielsetzung der SINUS-Gruppe

Die beschriebene Ausgangslage verdeutlicht die Notwendigkeit, den Aufbau eines anschlussfähigen Ionenverständnisses im Chemieunterricht systematisch zu fördern. Ziel der Projektgruppe war es deshalb, ein umfassendes Unterrichtskonzept für eine strukturierte Erarbeitung der Ionen und Salze zu entwickeln und zu erproben. Einen besonderen Fokus stellt die Anknüpfungsfähigkeit an das vorab erworbene Wissen zum Kern-Hülle-Modell dar, sodass ein kumulativer Wissensaufbau im Fach angestrebt wird. Um möglichst alle Lernenden im Rahmen ihrer Eingangsvoraussetzungen optimal zu fördern, sollte das entwickelte Konzept den folgenden Kriterien genügen:

- Berücksichtigung individueller Voraussetzungen der Lernenden durch integrierte Binnendifferenzierung,
- ausreichende Gelegenheiten zum Üben und Vertiefen der erworbenen Kenntnisse,
- eine für Schülerinnen und Schüler transparente Strukturierung des Unterrichtsinhalts und des Lernprozesses,
- systematische Förderung der Modellkompetenz der Lernenden durch explizite Reflexion der genutzten Modelle zur Darstellung und Erarbeitung des Themas,
- Förderung der Eigenständigkeit und des selbstregulierten Lernens der Schülerinnen und Schüler.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde das Lernleiter-Konzept als Rahmenkonzeption für die Entwicklung der Unterrichtseinheit genutzt. Dieser Ansatz wurde bereits im Rahmen der vorangegangenen Projektarbeit für das Thema der Einführung eines differenzierten Atommodells im Chemieunterricht der Sekundarstufe I erfolgreich umgesetzt und evaluiert (van Vorst, 2018a, 2018b), weshalb es nun auf das Thema *Ionen und Salze* übertragen werden soll. Die Grundlagen des Lernleiter-Konzepts und dessen praktische Umsetzung innerhalb der SINUS-Gruppe werden nachfolgend umfassend dargestellt.

Strukturierung mit der Lernleiter

Schaut man in die Literatur zur Beschreibung von Unterrichtsqualität, findet sich darin stets der Aspekt der Strukturierung als eines der wesentlichen Merkmale guten Unterrichts (z. B. Helmke, 2017). Dabei kann die Umsetzung von Strukturierung in der Unterrichtspraxis auf unterschiedlichen Ebenen ansetzen. Holländer (2010) unterscheidet zwischen einer Inhalts- und einer Prozessstrukturierung. Die Inhaltsstrukturierung beschreibt die sachlogische Untergliederung der Unterrichtsinhalte. Eine grobe Vorgabe der Inhaltsstruktur des Unterrichts findet sich bereits im Curriculum sowie im schulinternen Lehrplan, eine Unterteilung der Inhalte auf einzelne Lernsequenzen und Unterrichtsstunden erfolgt anschließend durch die einzelne Lehrkraft. Auf dieser Ebene findet dann auch die Prozessstrukturierung des Unterrichts statt. Gemeint ist damit die Unterteilung der Unterrichtsschritte, verbunden mit der Phasierung einzelner Unterrichtsstunden, der jeweils eingesetzten Methoden,

Jedem Baustein der Lernleiter wird eine sogenannte *Aktivitätskarte* zugeordnet. Sie beinhaltet die konkrete Aufgabenstellung und ist ebenfalls mit dem Piktogramm und der Beschriftung des Bausteins versehen. Damit kann die Aktivitätskarte eindeutig einem Baustein zugeordnet werden, sodass die Lernenden ihr eigenes Lernmaterial selbstständig bearbeiten und individuell in der Lernleiter voranschreiten können.

Mit der hier vorgestellten Lernleiter zum Thema *Ionen und Salze* (Inhaltsfeld 6 des Kernlehrplans Chemie für die Sekundarstufe I – 2019) besteht inhaltlich wie konzeptionell die Möglichkeit, an die bereits vorliegende Lernleiter zum Thema *Atombau* (Inhaltsfeld 5 des Kernlehrplans Chemie für die Sekundarstufe I – 2019) anzuknüpfen. Eine Übersicht über die Inhaltsstruktur der Lernleiter *Atombau* mit drei Milestones zur Einführung des Schalenmodells findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Inhaltsstruktur der Lernleiter *Atombau*

	Inhalt	Zentrale Begriffe/Konzepte
Milestone 1	Kern-Hülle-Modell, Elementarteilchen/Atomsymbole	Streuversuch, Atomkern, Protonen, Neutronen, Atomhülle, Masse, Massenzahl, Kernladungszahl, Ordnungszahl, Isotope
Milestone 2	Schalenmodell	Elektronen, Schalenmodell, Bohr, Ionisierungsenergie, Energiestufen
Milestone 3	Schalenmodell/Periodensystem	Periodensystem, Hauptgruppen, Oktett-Regel

Besonderes Merkmal dieser Lernleiter ist die systematische Integration binnendifferenzierender Übungsphasen in jeden Milestone. Gleichzeitig lag ein besonderer Fokus der Übungsphasen auf der Förderung der Modellkompetenz der Schülerinnen und Schüler, da ein reflektierter und systematischer Umgang mit Modellen gerade in diesem Themenfeld eine besondere Bedeutung im Chemieunterricht hat. Das vollständige Material der Lernleiter *Atombau* ist als Printversion bei van Vorst und Sumfleth (2020) sowie digital auf der Homepage der QUA-LiS NRW¹ und dem SINUS-Projekt² erhältlich. Die hier dargestellte Lernleiter zum Thema *Ionen und Salze* knüpft inhaltlich an die Lernleiter *Atombau* an und nutzt analoge Aufbauprinzipien. Nachfolgend werden das konkrete Vorgehen bei der Materialentwicklung sowie ausgewählte Materialbeispiele der Lernleiter *Ionen und Salze* vorgestellt.

2 Vorstellung ausgewählter Produkte

Einführung in die Lernleiter *Ionen und Salze*

Für die Entwicklung der Materialien der Lernleiter *Ionen und Salze* wurde das im vorherigen Kapitel bereits vorgestellte grundlegende Konzept der Lernleiter übernommen. Hierzu wurden in einem ersten Schritt für den Unterricht relevante Fachinhalte des Themenfeldes ausgewählt und als inhaltliche Teilsequenzen in Form einzelner Milestones zusammengefasst. So ergaben sich insgesamt drei Milestones, die in eine hierarchische Abfolge gebracht wurden. In

¹ www.schulentwicklung.nrw.de.

² www.sinus.nrw.de.

Tabelle 2 findet sich eine Übersicht über die drei Milestones mit ihren jeweiligen Inhalten.

Tabelle 2: Inhaltsstruktur der Lernleiter *Ionen und Salze*

	Inhalt	Zentrale Begriffe/Konzepte
Milestone 1	Ionenbildung	Elektronenübertragung, Ion, Oktett-Regel, Ionenladung
Milestone 2	Eigenschaften von Salzen	Schmelztemperatur, Löslichkeit, Leitfähigkeit, Sprödigkeit, Gitterenergie
Milestone 3	Nomenklatur und Verhältnisformeln	Elektroneutralität, Verhältnisformeln

Milestone 1 fokussiert die Ionenbildung. Im ersten Baustein bekommen die Schülerinnen und Schüler die Gelegenheit, ein erstes Verständnis des Ionenkonzepts mithilfe des Flash-Trickfilms *Die Synthese von NaCl* der Internetseite *Chemie interaktiv*³ selbstständig zu erarbeiten. Unterstützt wird diese erste Begegnung mit dem Inhalt durch einen Informationstext, der wesentliche Begriffe einführt. Abschließend wird in einer gemeinsamen Plenumsphase das entwickelte Verständnis diskutiert, um so möglichst frühzeitig auf erste Schülervorstellungen reagieren zu können. Die übrigen Bausteine des ersten Milestones dienen dann der Übung und Vertiefung der erworbenen Kenntnisse.

Schwerpunkt des zweiten Milestones ist die Ionenbindung und die daraus resultierenden Zusammenhänge zu den makroskopischen Eigenschaften von Salzen. In der Aneignungsphase erarbeiten die Schülerinnen und Schüler in einem Stationenlernen die Eigenschaften Schmelztemperatur, Leitfähigkeit, Löslichkeit und Sprödigkeit mithilfe unterschiedlicher Experimente und verschiedener Modelle. Unterstützt werden die Lernenden dabei durch entsprechende Aufgabenstellungen, die auf verschiedenen Schwierigkeitsniveaus eine eigenständige Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Eigenschaften von Salzen auf submikroskopischer Ebene ermöglichen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Förderung des Modellverständnisses des Ionengitters in einem Salzkristall, welches stets für die Auseinandersetzung mit den Eigenschaften der Salze herangezogen wird.

Der dritte Milestone fokussiert die Benennung von Salzen sowie das Aufstellen von Verhältnisformeln. Ziel ist, den Umgang mit unterschiedlichen Modellen des Ionengitters einzuüben und das Verständnis über die räumliche Struktur sowie die Mengenverhältnisse in einem Salzkristall anzuregen. Mithilfe zahlreicher Übungen, Analogien und unterschiedlicher Modelldarstellungen soll dieses Verständnis gefördert werden.

In Abbildung 2 ist die Lernleiter *Ionen und Salze* dargestellt. Die Inhaltsstruktur der Lernleiter lässt sich im jeweils ersten Baustein eines Milestones erkennen. Hier werden die zentralen Begriffe und Konzepte, die innerhalb dieses Milestones erarbeitet werden, explizit benannt.

Die Prozessstruktur des Unterrichts wird dann anhand der Abfolge der einzelnen Bausteine sowie mithilfe der verwendeten Symbole innerhalb der Bausteine dargestellt. Dazu wurde eine feste Abfolge der Bausteine innerhalb eines Milestones festgelegt:

- Baustein 1: Aneignung
- Baustein 2: Basisübung

- Baustein 3: Selbsteinschätzung
- Baustein 4: Individuelle Übung
- Baustein 5: Evaluation

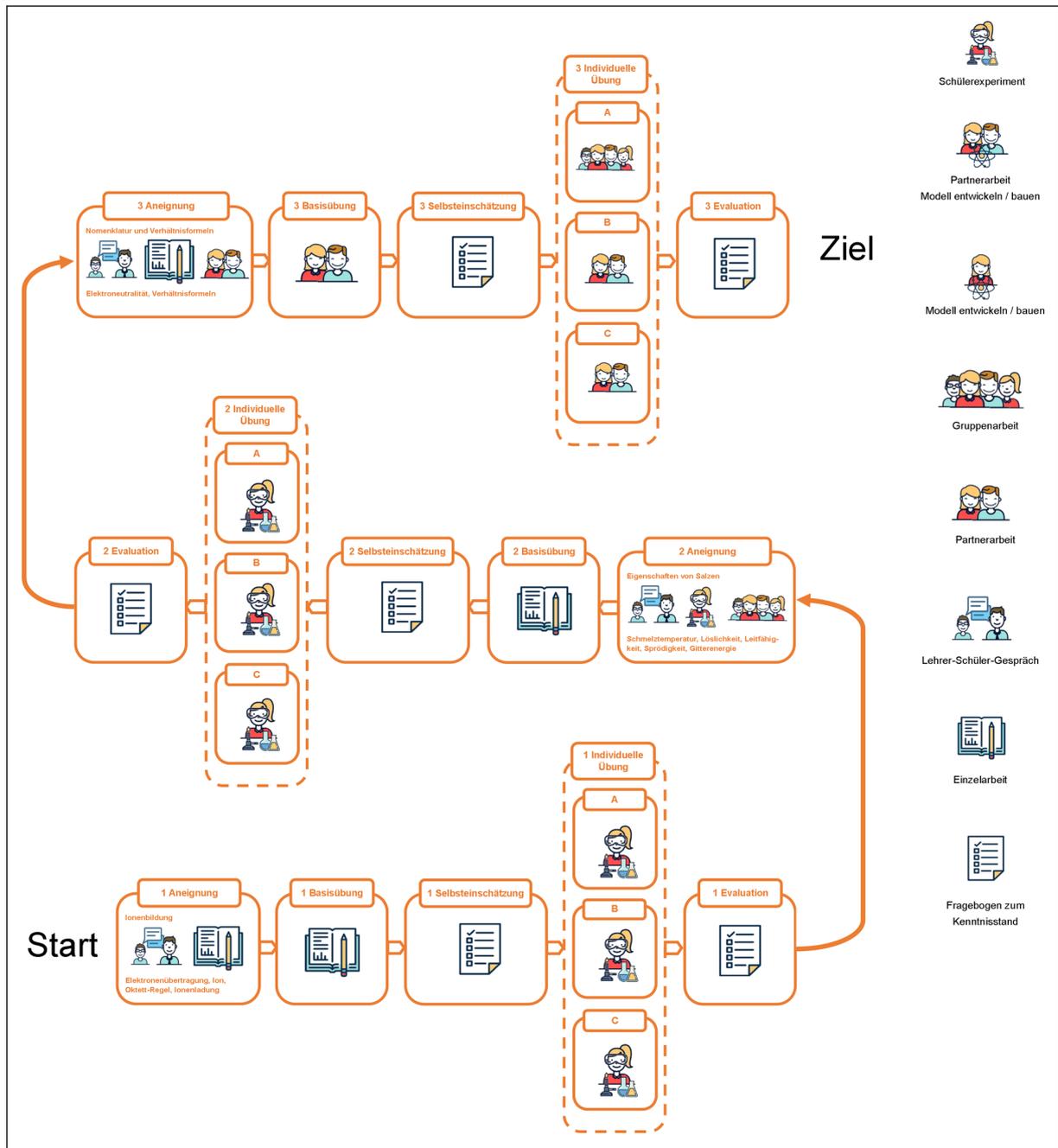


Abbildung 2: Übersicht über die Lernleiter Ionen und Salze

Die einzelnen Bausteine werden nachfolgend im Detail dargestellt.

Baustein 1: Aneignung

Jeder Milestone beginnt mit einer Aneignungsphase. Diese Phase dient dem Erwerb neuen Wissens und nutzt dazu unterschiedliche Sozialformen, Methoden und Herangehensweisen. Neben klassischen Unterrichtsgesprächen finden sich in dieser Phase Experimente, ein Stationenlernen oder computergestützte Selbstlernmaterialien. In der Aneignungsphase wird ein besonderer Wert auf die Aktivierung der Schülerinnen und Schüler gelegt. Dazu werden

handlungsorientierte Methoden genutzt, die dem Ziel dienen, allen Lernenden die Möglichkeit zu eröffnen, sich selbstständig mit den Inhalten auseinanderzusetzen und im Sinne der konstruktivistischen Lerntheorie ihr Wissen zu konstruieren. Um trotzdem eine Rückmeldung durch die Lehrkraft zu erhalten, sind in diesem ersten Baustein auch Plenumsphasen integriert, in denen Fragen und Lösungen im Klassenverband ausgetauscht werden können.

Baustein 2: Basisübung

Das in der Aneignungsphase erworbene Wissen wird im zweiten Baustein, der Basisübung, selbstständig in Übungsaufgaben mit unterschiedlichen Schwierigkeitsniveaus angewendet. Diese Phase ist überwiegend von Einzelarbeit geprägt, damit jede Schülerin und jeder Schüler die Gelegenheit bekommt, das erworbene Wissen eigenständig anzuwenden und mögliche Wissenslücken zu diagnostizieren. Der erste Teil einer Basisübung dient der Wiederholung wesentlicher Begriffe und Konzepte der Aneignungsphase. Hier kommen z. B. Lückentexte zum Einsatz, die dabei helfen, dass auch schwächere Schülerinnen und Schüler einen Überblick über die Zusammenhänge des bearbeiteten Themas erhalten. Ein Beispiel für eine solche Lückentextaufgabe ist in Abbildung 3 dargestellt.

Aufgabe 1: Setze die folgenden Begriffe an der richtigen Stelle im Text ein:

abgeben oder aufnehmen / aufgenommen / Anionen / Argon / Chloridion / Edelgaskonfiguration / Elektron / Ion / Kationen / negativ / positiv / sehr stabiler / sieben / drei

Die Teilchen der meisten chemischen Elemente (außer die Edelgase) streben die sogenannte _____ an. Das ist ein _____ Zustand. Die äußere Elektronenschale ist hierbei vollständig mit Elektronen besetzt. Um diesen Zustand zu erreichen, müssen die Elemente Elektronen _____. Sie werden dadurch zum _____.

Ob Elektronen abgegeben oder aufgenommen werden, hängt von der Stellung im PSE ab. Es gilt, dass so wenige Elektronen wie möglich wandern. Die Anzahl an Elektronen des im PSE am nächsten stehenden Edelgases soll erreicht werden.

Die Elemente der ersten Hauptgruppe, z. B. das Element Natrium, streben die gleiche Anzahl an Elektronen an wie das vor ihnen stehende Edelgas (hier: Neon). Hierzu müssen sie ein _____ abgeben. Für das Element Chlor ist der edelgasähnliche Zustand am schnellsten zu erreichen, wenn ein Elektron _____ wird. Es besitzt dann die gleiche Anzahl Elektronen wie das Edelgas _____. Aus dem Natriumatom ist ein Natriumion geworden und aus dem Chloratom ein _____.

Atome mit ein bis _____ Außenelektronen können Elektronen abgeben. Dabei entstehen _____ geladene Ionen. Solche Ionen heißen _____. Atome mit fünf bis _____ Außenelektronen können Elektronen aufnehmen. Dabei entstehen _____ geladene Ionen. Solche Ionen heißen _____.

Abbildung 3: Aufgabenbeispiel zu einem Lückentext der Basisübung (Milestone 1)

Im zweiten Teil einer Basisübung werden diese Zusammenhänge exemplarisch in weiteren Aufgabenstellungen angewendet. Neben modellorientierten Aufgaben kommt hier z. B. auch ein Würfelspiel zum Einsatz, mit dessen Hilfe das Aufstellen von Verhältnisformeln eingeübt wird. Abbildung 4 zeigt die entsprechende Aufgabenstellung zu dem Würfelspiel.

Aufgabe 6

Spiel „Würfle die Verhältnisformel!“

Mithilfe des folgenden Spieles sollt ihr das Aufstellen der Verhältnisformeln von Salzen üben. Das Spiel besteht aus zwei Runden.

1. Runde:

In der 1. Runde nehmt ihr die Würfel mit der roten und der blauen Beschriftung. Auf dem Würfel mit der roten Beschriftung befinden sich die Elementsymbole eines Metalls und auf dem Würfel mit der blauen Beschriftung befinden sich Elementsymbole von Nichtmetallen.

- Würfelt nun mit beiden Würfeln gleichzeitig.
- Welche Ionen werden aus den beiden Elementen bei einer Elektronenübertragungsreaktion gebildet?
- Welche Verhältnisformel hat das Salz, das aus beiden Ionen gebildet wird?
- Notiert eure Antworten.

Spielt so lange weiter, bis jeder von euch 5-mal gewürfelt hat. Wer die meisten richtigen Antworten gegeben hat, hat gewonnen.

2. Runde:

In der 2. Runde nehmt ihr die Würfel mit der schwarzen und der grünen Beschriftung. Auf dem Würfel mit der schwarzen Beschriftung befinden sich positiv geladene Ionen (Kationen) und auf dem Würfel mit der grünen Beschriftung befinden sich negativ geladene Ionen (Anionen).

- Würfelt nun mit beiden Würfeln gleichzeitig.
- Welche Verhältnisformel hat das Salz, das aus beiden Ionen gebildet wird?
- Notiert eure Antworten.

Spielt so lange weiter, bis jeder von euch 5-mal gewürfelt hat. Wer die meisten richtigen Antworten gegeben hat, hat gewonnen.

Abbildung 4: Anwendungsaufgabe als Würfelspiel zu Verhältnisformeln aus der Basisübung (Milestone 3)

Baustein 3: Selbsteinschätzung

Eine systematische Diagnose der bereits erworbenen Kompetenzen erfolgt im dritten Baustein eines Milestones, der Selbsteinschätzung. Hierzu erhalten die Lernenden einen Selbsteinschätzungsbogen, mit dessen Hilfe sie ihren Wissensstand selbstständig beurteilen. Die Selbsteinschätzungsbögen der Lernleiter *Ionen und Salze* wurden in Anlehnung an die Arbeit von Kallweit und Melle (2017) entwickelt. Ein Beispiel für einen Selbsteinschätzungsbogen ist in Abbildung 5 dargestellt. In der linken Spalte des Selbsteinschätzungsbogens werden Kompetenzen aufgeführt, die die Schülerinnen und Schüler in der Aneignungsphase und Basisübung erworben haben sollten. Mithilfe einer vierstufigen Skala (1 = Das kann ich; 4 = Das kann ich noch nicht) bewerten die Lernenden, inwiefern sie die einzelnen Kompetenzen bereits beherrschen. Sollten sie sich bei einer Kompetenz noch unsicher sein, werden in der rechten Spalte geeignete Aufgaben für die nachfolgende Phase der individuellen Übung empfohlen. Durch dieses Vorgehen soll das selbstregulierte Lernen der Schülerinnen und Schüler gefördert werden. Die formulierten Kompetenzen sollen die Lernenden anhalten, über ihren Lernprozess zu reflektieren und gleichzeitig die Ziele des Milestones präsent halten. Aufgrund der empfohlenen Aufgaben werden die Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzt, mögliche Wissenslücken selbstständig zu schließen.

1 Selbsteinschätzung		Ionenbildung			
AB 5: Selbsteinschätzungsbogen					
Nun sollst du dein erworbenes Wissen zur Ionenbildung einschätzen. Bearbeite im Anschluss diejenige Aufgabe, die zu der Fähigkeit in der Tabelle gehört, bei der du zuerst „Da bin ich mir unsicher.“ oder „Das kann ich noch nicht.“ angekreuzt hast.					
Wenn du dich schon bei allen aufgeführten Inhalten sicher fühlst, kannst du die Aufgabe 1 C bearbeiten.					
Meine Fähigkeiten	Das kann ich.	Da bin ich fast sicher.	Da bin ich mir unsicher.	Das kann ich noch nicht.	Übungs- aufgaben
Ich kann die Begriffe <i>Ion</i> , <i>Ionenladung</i> und <i>Edelgaskonfiguration</i> erklären.					1 A 
Ich kann ein Schalenmodell zur Bildung eines Ions aus einem Atom darstellen.					1 A 
Ich kann die Bildung eines Natriumions und eines Chloridions beschreiben.					1 A 
Ich kann erklären, was bei der Reaktion von Metallen mit Nichtmetallen auf Teilchenebene passiert.					1 B 
Ich kann die Bildung der Ionen der Hauptgruppenelemente im Schalenmodell darstellen.					1 B 
Ich kann erklären, wie Salze aufgebaut sind.					1 B 
Wenn du bei den oberen Aussagen immer „Das kann ich.“ oder „Da bin ich fast sicher.“ angekreuzt hast, dann bearbeite folgende Aufgaben:					1 C 

Abbildung 5: Beispiel für einen Selbsteinschätzungsbogen (Milestone 1)

Baustein 4: individuelle Übung

In Abhängigkeit zum Ergebnis der Selbsteinschätzung wird den Schülerinnen und Schülern passendes Fördermaterial empfohlen. Diese binnendifferenzierten Übungsaufgaben bearbeiten die Lernenden im nachfolgenden Baustein zur individuellen Übung. Auch hier wurde ein besonderer Wert auf die Vielfältigkeit der genutzten Methoden und Zugänge gelegt. Neben schriftlichen Aufgaben kommen zahlreiche Karten- und Würfelspiele, Experimente und Lösungsbeispiele zum Einsatz. Im Baustein der individuellen Übung werden drei Schwierigkeitsniveaus unterschieden. Um eine systematische Differenzierung der Schwierigkeitsniveaus zu ermöglichen, wurde eine vereinfachte Version des ESNaS-Kompetenzmodells⁴ genutzt, das zur Evaluation der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften entwickelt wurde (Kauertz, Fischer, Mayer, Sumfleth & Walpuski, 2010). Dazu wurden bei der Konstruktion der Aufgaben die drei Komplexitätsniveaus *Fakt*, *Zusammenhang* und *Konzept* unterschieden und mit den beiden kognitiven Prozessen *Wiedergeben* und *Anwenden* kombiniert. So wurde die Abstufung der drei Schwierigkeitsniveaus für die individuelle Übungsphase folgendermaßen umgesetzt (siehe Tabelle 3):

4 ESNaS = Evaluation der Standards für die Naturwissenschaften in der Sekundarstufe I.

Tabelle 3: Kombination der Komplexitätsniveaus und kognitiven Prozesse auf den Niveaustufen der individuellen Übungsaufgaben der Lernleiter *Ionen und Salze*

	Kognitiver Prozess	Komplexität
Niveau I	Fakt	wiedergeben
	Zusammenhang	wiedergeben
Niveau II	Zusammenhang	anwenden
	Konzept	wiedergeben
Niveau III	Konzept	anwenden

AB 6: „Karl trinkt Mineralwasser“

Setze dir das Ziel zu verstehen, aus welchen Teilchen Salze aufgebaut sind.

Natürliches Mineralwasser mit Kohlensäure versetzt aus der Perlenspritzquelle

Medium

Auszug aus der Mineralwasseranalyse vom 05.04.2016 der Laborunion Prof. Chent.

In 1L Mineralwasser sind enthalten:

Kationen: Natrium (Na^+) 34 mg/L, Kalium (K^+) 1,3 mg/L, Magnesium (Mg^{2+}) 5,8 mg/L, Calcium (Ca^{2+}) 17,6 mg/L

Anionen: Chlorid (Cl^-) 49 mg/L, Sulfat (SO_4^{2-}) 25 mg/L, Hydrogencarbonat (HCO_3^-) 57 mg/L

Aus den Tiefen der gesunden Natur.

Abbildung 1: Flaschenetikett des Mineralwassers *Perlenspritz*

Der folgende Text ist ein Dialog, den ihr rollenverteilt lesen sollt. Der Text ist in drei Abschnitte aufgeteilt. Am Ende des Textes erwartet euch eine zusammenfassende Aufgabe, mit der ihr überprüfen könnt, was ihr gelernt habt.

Karl trinkt Mineralwasser

Teil I:

Karl und Anton treffen sich nach dem Sportunterricht in der Pausenhalle. Karl trinkt gerade den letzten Rest aus seiner Mineralwasserflasche. Anton greift nach der leeren Flasche, sein Blick fällt auf das Etikett.

Anton: „Du hast gerade Chlor getrunken.“

Karl: „Ne, Wasser, warum?“

Anton: „Hier steht, im Wasser ist Chlor enthalten.“

Karl: „Ist das gefährlich?“

Anton: „Ja, Chlor ist doch giftig, das haben wir im Chemieunterricht gelernt.“

Karl: „Das kann gar nicht sein. Entweder du hast etwas falsch verstanden oder in meinem Wasser ist etwas anderes drin.“

Anton: „Stimmt. Das können nur Salze sein. Wahrscheinlich Natriumchlorid, hier steht doch ‚aus den Tiefen der gesunden Natur‘.“

Karl: „Davon habe ich schon mal was gehört. Man kann sogar beweisen, ob bestimmte Salze im Wasser enthalten sind. Man gibt einen Stoff dazu und das Mineralwasser verfärbt sich ganz weiß, wenn Chloridionen enthalten sind. Wenn keine oder andere Ionen drin sind, passiert nichts oder das Wasser verfärbt sich grau oder sogar gelb.“

Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Arbeitsmaterial zu Niveaustufe 1 – Lösungsbeispiel „Karl trinkt Mineralwasser“ (Milestone 1) (in Anlehnung an Schüßler, Emden & Sumfleth, 2015)

Das Arbeitsmaterial auf Niveaustufe 1 basiert im Wesentlichen auf Lösungsbeispielen. Diese stellen die Lösung einer komplexen Aufgabe in einzelnen Schritten ausführlich dar. Gerade bei schwächeren Lernenden hat sich der Einsatz von Lösungsbeispielen bewährt (Kölbach & Sumfleth, 2013). Allerdings wäre die Darstellung eines vollständigen Lösungsbeispiels im Rahmen dieses Beitrags zu umfangreich. Deshalb ist nur die erste Seite eines Lösungsbeispiels abgedruckt (siehe Abbildung 6).

Baustein 5: Evaluation

Im letzten Baustein eines Milestones, der Evaluation, wird eine Lernzielkontrolle in Form eines Tests durchgeführt. Diese gibt der Lehrkraft einen Einblick in die individuellen Ergebnisse des Lernprozesses der Schülerinnen und Schüler und kann die Notengebung unterstützen. Bei den Tests innerhalb der Lernleiter *Ionen und Salze* handelt es sich um Multiple-Choice-Tests, die entsprechend den Niveaustufen der individuellen Übungsphase in Anlehnung an das ESNaS-Kompetenzmodell entwickelt wurden. So sollte eine Passung des Schwierigkeitsniveaus an die Übungsphasen des Milestones sichergestellt werden. Abbildung 7 zeigt zwei beispielhafte Aufgaben der genutzten Tests.

Welche Aussage über die Leitfähigkeit von Salzen ist richtig?

- Je höher die Temperatur einer Salzlösung ist, desto besser ist ihre Leitfähigkeit.
- Je niedriger die Konzentration einer Salzlösung ist, desto besser ist ihre Leitfähigkeit.
- Je höher die Spannung der Spannungsquelle ist, desto niedriger ist ihre Leitfähigkeit.
- Je größer das Volumen der Salzlösung ist, desto besser ist ihre Leitfähigkeit.

Den Zustand, bei dem ein Atom seine äußerste Elektronenschale vollständig besetzt hat, nennt man ...

- Oktett-Regel.
- Edelgaskonfiguration.
- Elementarteilchen.
- Valenzschale.

Abbildung 7: Zwei Beispiele der genutzten Aufgaben der Tests aus den Evaluationsbausteinen der Lernleiter *Ionen und Salze*

3 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Perspektiven

Bestandteil der Entwicklung der Lernleiter *Ionen und Salze* waren zwei Implementationsphasen. In diesen Phasen wurde das entwickelte Lernleitermaterial an fünf Gymnasien in NRW in 8. und 9. Klassen erprobt und evaluiert. Zum größten Teil wurde das Material in Klassen eingesetzt, die zuvor mit der Lernleiter *Atombau* unterrichtet wurden und aufgrund dessen die unterrichtliche Arbeit mit der Lernleiter bereits kannten. Um die unterrichtlichen Erfahrungen der einzelnen Lehrkräfte festzuhalten, wurden Implementationstagebücher genutzt. Nach jeder Unterrichtsstunde notierten die Lehrkräfte, welche Teile der Lernleiter sie mit welchen Erfahrungen eingesetzt hatten. Bei den Projektreffen konnten sich die Lehrkräfte mit dieser Grundlage fundiert über ihre Erfahrun-

gen austauschen, die dann die Grundlage für die Optimierung der Lernleiter vor der erneuten Implementation darstellten. Ergänzend wurde eine Evaluationsstudie im Prä-Post-Design mit den Schülerinnen und Schülern durchgeführt. Dazu wurden bereits bewährte Fragebögen zum chemiebezogenen Interesse und Selbstkonzept der Schülerinnen und Schüler (z. B. Fechner, 2009; van Vorst, 2013) eingesetzt, in denen die Lernenden ihr Selbstkonzept sowie ihr Interesse auf einer vierstufigen Likert-Skala (1 = trifft gar nicht zu; 4 = trifft vollständig zu) vor und unmittelbar nach der Unterrichtsreihe mit der Lernleiter bewerteten. Zusätzlich wurde das Fachwissen zum Themenfeld *Ionen und Salze* sowohl vor als auch unmittelbar im Anschluss an den Lernleiter-Unterricht eingesetzt, um den Kompetenzzuwachs im Bereich des Fachwissens durch den Unterricht mit der Lernleiter zu ermitteln. Angestrebt wurde auch ein Vergleich der Lernleiter-Klassen mit Schülerinnen und Schülern aus Parallelklassen, die nicht mit dem Lernleiter-Konzept unterrichtet wurden. In der Durchführung zeigte sich jedoch, dass der Unterricht der Kontrollgruppe sowohl vom Umfang als auch von der inhaltlichen Ausgestaltung her nicht hinreichend vergleichbar zum Lernleiter-Unterricht war, sodass in der Auswertung kein fairer Vergleich der Ergebnisse gewährleistet werden konnte. Aus diesem Grund werden nachfolgend ausschließlich die Ergebnisse der Lernleiter-Gruppe berichtet. Insgesamt konnten die Daten von 80 Schülerinnen und Schülern in die Auswertung einbezogen werden (39 männlich, 41 weiblich). Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse des Fachwissenstests. Die Durchführung einer Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt einen signifikanten Fachwissenszuwachs im Themenfeld *Ionen und Salze* mit einer hohen Effektstärke ($F(1, 79) = 93,847$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,543$). Hinsichtlich des Fachwissenszuwachses kann der Unterricht mit der Lernleiter somit als positiv bewertet werden.

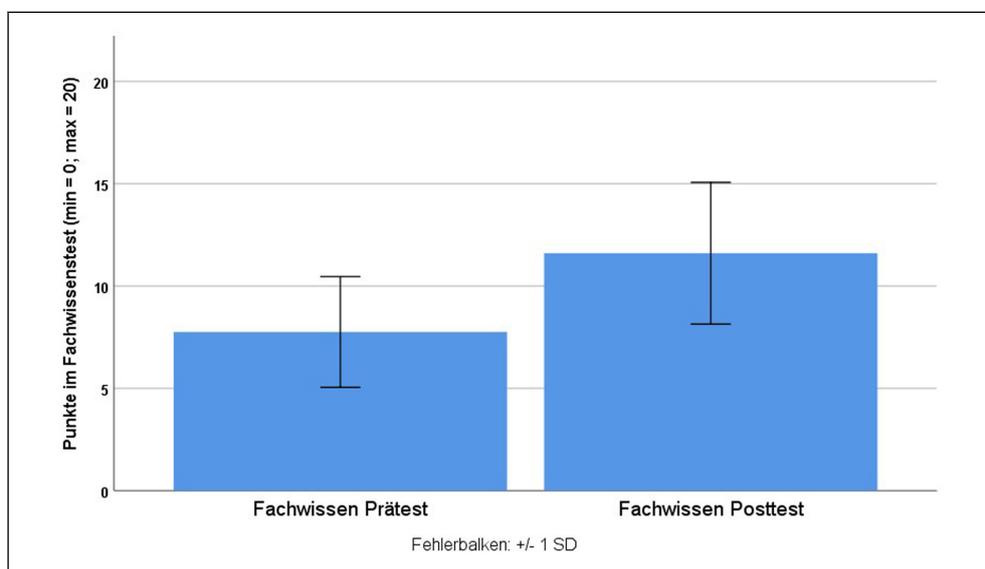


Abbildung 8: Mittelwert der absolut erreichten Punktzahl im Fachwissenstest zum Themenfeld *Ionen und Salze* (maximal 20 Punkte; minimal 0 Punkte)

Für das Interesse und Selbstkonzept der Lernenden konnten keine signifikanten Effekte des Lernleiter-Unterrichts gefunden werden. Die Werte liegen nach wie vor im mittleren Bereich. Dies erscheint zunächst als ernüchterndes Ergebnis, kann aber vor dem Hintergrund des allgemein festgestellten Interessensrückgangs am Fach Chemie in der Sekundarstufe I (Merzyn, 2008) als positiv

gewertet werden. Dem sonst negativ verlaufenden Trend des Interesses der Lernenden konnte zumindest entgegengewirkt werden.

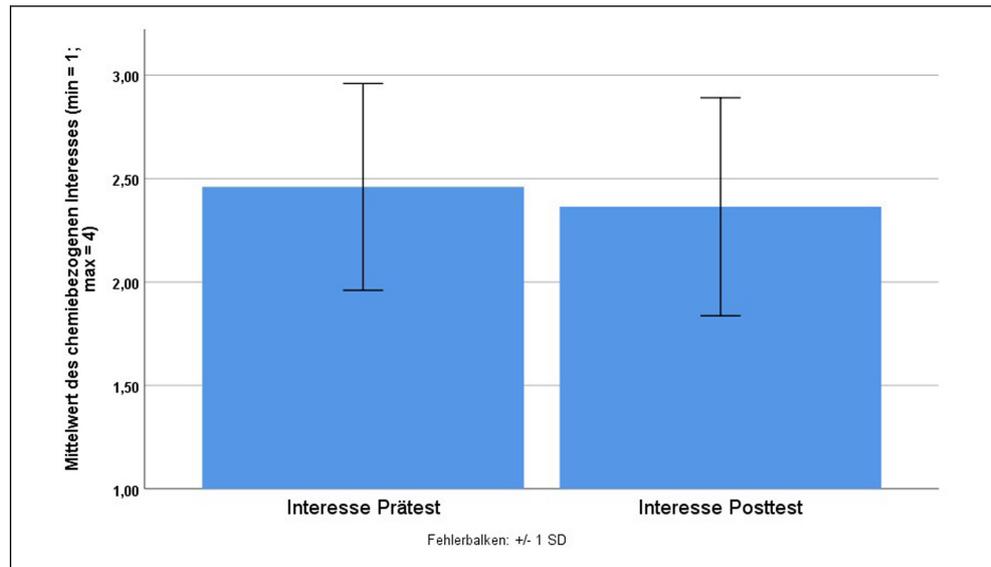


Abbildung 9: Mittelwerte der Fragebogenergebnisse zum Interesse am Fach Chemie (1 = trifft gar nicht zu; 4 = trifft völlig zu)

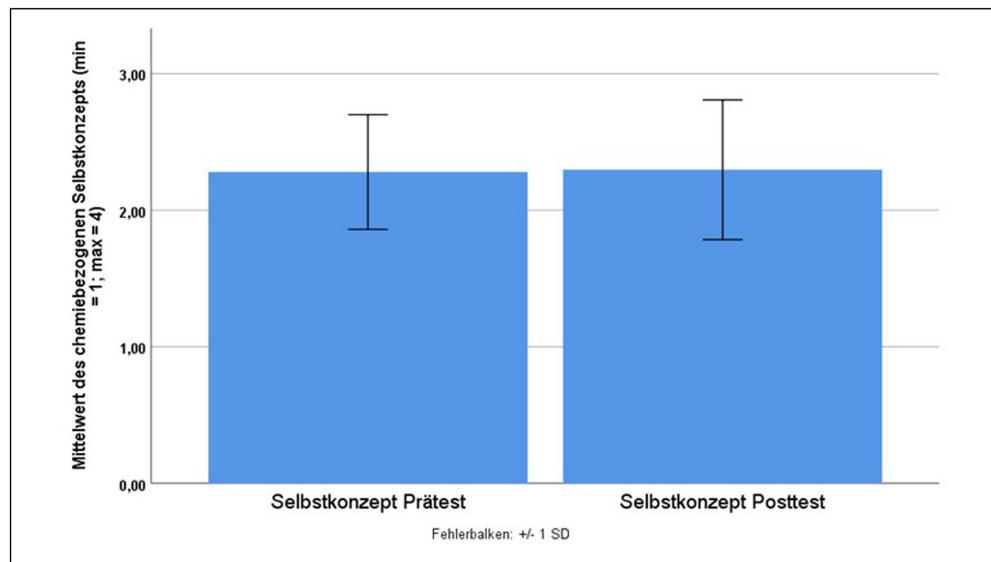


Abbildung 10: Mittelwerte der Fragebogenergebnisse zum chemiebezogenen Selbstkonzept der Lernenden (1 = trifft gar nicht zu; 4 = trifft völlig zu)

Die unterrichtspraktische Erprobung zeigt, dass die Lernleiter *Ionen und Salze* auch unabhängig von der Lernleiter *Atombau* erfolgreich eingesetzt werden kann, wenn die Schülerinnen und Schüler in den Umgang mit der Lernleiter eingeführt werden. Rückmeldungen der Schülerinnen und Schüler zeigen, dass sie am Unterricht mit der Lernleiter insbesondere das transparente und strukturierte Vorgehen in Kombination mit der Selbstverantwortung für ihren eigenen Lernprozess schätzen. Die Unterrichtsbeobachtung der Lehrkräfte, aber auch Aussagen der Lernenden machen deutlich, dass sie die Transparenz des Unterrichtsgeschehens als besonders förderlich für ihren Lernprozess bewerten. Durch das Lernleiterposter, auf dem der Unterrichtsstand in jeder Unter-

richtsstunde gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern eingeordnet wird, sind sowohl der Lerninhalt, aber auch die Sozialform transparent.

Die Erfahrungen der Lehrkräfte, die mit der Lernleiter unterrichteten, machen deutlich, dass die Lernenden von den kleinschrittigen Lernsequenzen sowie der klaren Gliederung in Milestones und Bausteine profitieren. Hierdurch wird das strukturierte Arbeiten gefördert. Die Lehrkraft ist dabei als Lernberater gefragt, der die Schülerinnen und Schüler individuell während der Selbsteinschätzung und der individuellen Übungsphase unterstützt, was eine genaue Beobachtung des Lernverhaltens und das gezielte und individuelle Anbieten geeigneter Hilfestellungen erfordert.

Gerade das handlungsorientierte Material, wie z. B. Lernspiele, erhöht die Motivation der Schülerinnen und Schüler in den Übungsphasen. Anders als in der Lernleiter *Atombau*, in der inhaltsbedingt nur Modellexperimente eingesetzt wurden, integriert die Lernleiter *Ionen und Salze* auch Schülerexperimente. Während das SINUS-Team bei der Konstruktion des Lernleitersmaterials davon ausging, dass der Einsatz von Schülerexperimenten einen besonderen motivierenden Effekt hat, zeigt die praktische Erprobung an diesen Stellen die größten Herausforderungen für den unterrichtlichen Einsatz. Zum einen ist es notwendig, die einzelnen Versuchsvorschriften an die Gegebenheiten und die Ausstattung der jeweiligen Schule sowie die Experimentiererfahrungen der Schülerinnen und Schüler anzupassen. Zum anderen ist ein geübtes Classroom-Management erforderlich, da die Lernenden abhängig von der Niveaustufe unterschiedliche Experimente durchführen. Die Auswertung der Experimente zu den Eigenschaften der Salze erfolgt zudem nicht nur auf phänomenologischer Ebene, sondern mithilfe der submikroskopischen Struktur der Salze. Gerade leistungsschwächere Lernende erkennen an dieser Stelle nicht die Notwendigkeit der strukturellen Erklärung, sondern bleiben auf der Ebene der phänomenologischen Auswertung des Experiments. Ihnen fällt es damit schwerer, die für diesen Milestone relevanten Kenntnisse zu erwerben.

Trotz dieser besonderen Herausforderungen sehen alle Lehrkräfte der Netzwerkschulen, die die Lernleiter *Ionen und Salze* bisher einsetzten, diese als sehr gewinnbringend an. Durch die transparente Prozess- und Inhaltsstruktur wurden aus ihrer Sicht nachhaltiges Lernen und die Zufriedenheit der Schülerinnen und Schüler im Chemieunterricht nachhaltig gefördert.

Literatur

- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fechner, S. (2009). *Effects of context oriented learning on student interest and achievement in chemistry education*. Berlin: Logos.
- Girg, R., Lichtinger, U. & Müller, T. (2012). *Lernen mit Lernleitern. Unterrichten mit der MultiGradeMultiLevel-Methodology (MGML) (Theorie und Praxis der Schulpädagogik, Bd. 10, neue Ausg)*. Immenhausen, Hess: Prolog.
- Helmke, A. (2017). *Unterrichtsqualität und Lehrprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts (Unterricht verbessern – Schule entwickeln, 7. Aufl.)*. Seelze: Klett; Kallmeyer.
- Hilbing, C. & Barke, H.-D. (2004). Ionen und Ionenbindung: Fehlvorstellungen hausgemacht! Ergebnisse empirischer Erhebungen und unterrichtliche Konsequenzen. *Chemie konkret*, 11 (3), 115–120.
- Holländer, M. (2010). *Effektivität des Advance Organizers als Strukturierungshilfe im Chemieunterricht der Sekundarstufe I*. Berlin: Uni-Edition.

- Kallweit, I. & Melle, I. (2017). Selbsteinschätzungsbögen als Instrument zur individuellen Förderung im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23 (1), 143–163.
- Kauertz, A., Fischer, H. E., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 135–150. Verfügbar unter http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/16_Kauertz.pdf [30.05.2012].
- Kölbach, E. & Sumfleth, E. (2013). Analyse von Kontexteffekten beim Lernen mit Lösungsbeispielen im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 159–188.
- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter?* Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSB) (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen*. Chemie. Düsseldorf.
- Nickel, H. (2015). Spielerisches Üben zum Thema Ionenbildung sowie Ionen- und Salzformel. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 64 (7), 9–14.
- Schüßler, K., Emden, M. & Sumfleth, E. (2015). *Lösungsbeispiele zum Thema Salze*. Universität Duisburg-Essen. Verfügbar unter https://www.uni-due.de/imperia/md/content/chemiedidaktik/ag-sumfleth/loesungsbeispiele_salze.pdf [16.01.2020].
- Strehle, N. (2007). *Das Ion im Chemieunterricht. Alternative Schülervorstellungen und curriculare Konsequenzen* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 67). Berlin: Logos.
- van Vorst, H. (2013). *Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 145). Berlin: Logos.
- van Vorst, H. (2018a). Structuring learning processes by ladders of learning: results from an implementation study. *Chemistry Education Research and Practice*, 19 (4), 1081–1095.
- van Vorst, H. (2018b). Zum Bohr'schen Atomkonzept mit der Lernleiter. Ein Ansatz zur Unterrichtsstrukturierung und Differenzierung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 71 (5), 317–324.
- van Vorst, H. & Sumfleth, E. (Hrsg.) (2020). *Von Sprosse zu Sprosse. Innovative Erarbeitung des Bohr'schen Atomkonzepts mit der Lernleiter*. Münster: Waxmann.

Projektgruppe

Carolin Geißler, Heinrich-Heine-Gymnasium, Dortmund
 Claudia Göke, Marianne-Weber-Gymnasium, Lemgo
 Sonja Klose, Steinhagener Gymnasium, Steinhagen
 Annegret Middelberg, Max-Planck-Gymnasium, Bielefeld
 Sören Pischel, Max-Planck-Gymnasium, Bielefeld
 Hanne Preiß, Marianne-Weber-Gymnasium, Lemgo
 Kai Riese, Heinrich-Heine-Gymnasium, Dortmund
 Andrea Timphus-Meier, Marianne-Weber-Gymnasium, Lemgo
 Raphael Troll, Friedrich-Rückert-Gymnasium, Düsseldorf
 Dr. Elke Wolf, Steinhagener Gymnasium, Steinhagen

Fachdidaktische Begleitung und Koordination

Dr. Helena van Vorst, Chemiedidaktik, Universität Duisburg-Essen