

Alexander Rother und Maik Walpuski

Eine Landkarte des Lernens im Chemieunterricht

Vernetztes Lernen anlegen und mit Diagnoseaufgaben sichern

Das Fach Chemie ist in besonderem Maße durch eine logisch aufeinander aufbauende Sachstruktur gekennzeichnet, deren Berücksichtigung eine Voraussetzung für erfolgreiches Lernen darstellt. Neue grundlegende Ideen und Vorstellungen können hierbei nur verstanden und eingeordnet werden, wenn die logischen Abhängigkeiten und der fachlich hierarchische Aufbau transparent sind. Auf dieser Basis kann gut strukturiertes verfügbares Wissen entstehen, welches wiederum einen wesentlichen und notwendigen Bestandteil fachlicher Kompetenzen ausmacht. Aber wird der Unterricht unter diesen Prämissen geplant? Werden im Unterricht die sachlogischen Bezüge und Abhängigkeiten innerhalb und auch zwischen den Basiskonzepten *Chemische Reaktion*, *Struktur der Materie* und *Energie* ausreichend berücksichtigt und Unterrichtskonzepte dahingehend überprüft?

logische
Abhängigkeiten

Vor diesem Hintergrund ist in dem vorgestellten Projekt eine „Netzkarte der chemischen Ideen“ für den Chemieunterricht der ersten beiden Lernjahre erstellt worden, die eine sinnvolle hierarchische Reihenfolge der grundlegenden Kernideen und ihrer Abhängigkeiten abbildet. Diese als *Landkarte des Lernens* bezeichnete grafische Übersicht folgt den Prinzipien der *Learning Progressions* und kann sowohl als Unterrichtsplanungshilfe als auch für Diagnoseinstrumente zur Überprüfung von Lernerfolgen eingesetzt werden, um die Kompetenzentwicklung von Schülerinnen und Schülern im Fach Chemie zu erfassen und zu verbessern. Die dargestellten Abhängigkeiten werden in der Praxis mit Hilfe von Leistungstests, die nach wissenschaftlichen Kriterien unter Anleitung und Begleitung durch die Universität Duisburg-Essen – Fachdidaktik Chemie entwickelt wurden, empirisch evaluiert.

1. Projektbeschreibung und Zielsetzung

Ausgangslage als Herausforderung – Lernen durch Vernetzung

Die Ergebnisse des *IQB-Ländervergleichs 2012 – Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (Pant et al., 2013) zeigen bezogen auf den Kompetenzerwerb im Chemieunterricht bundesweit und besonders für NRW Ergebnisse, die erheblichen Anlass zur Besorgnis liefern. Außerhalb der Gymnasien erreichen im Fach Chemie in den Kompetenzbereichen Fachwissen und Erkenntnisgewinnung sehr viele Schülerinnen und Schüler nicht die Regelstandards (Kompetenzstufe III). Ein großer Teil kann sogar nicht einmal die

IQB-Länder-
vergleich

Mindeststandards (Kompetenzstufe II) erfüllen (s. Tabelle 1), Chemieunterricht bleibt bei ihnen also praktisch wirkungslos.

Tabelle 1: Ergebnisse des Ländervergleichs 2012

	Anteil der Schülerinnen und Schüler außerhalb des Gymnasiums, die <i>nicht</i> die <i>Regelstandards</i> (Kompetenzstufe III) erreichen		Anteil der Schülerinnen und Schüler außerhalb des Gymnasiums, die <i>nicht</i> die <i>Mindeststandards</i> (Kompetenzstufe II) erreichen	
	NRW	Deutschland	NRW	Deutschland
<i>Chemie Fachwissen</i>	69,7 %	62,1 %	32,1 %	26,1 %
<i>Chemie Erkenntnisgewinnung</i>	65,1 %	55,1 %	26,9 %	19,1 %

Auch wenn die Gründe für diese auffälligen Defizite bisher nicht eindeutig ermittelt sind, so ist doch offensichtlich, dass Maßnahmen erforderlich sind, um den Erwerb der in den Standards geforderten Kompetenzen für einen wesentlichen Teil der Lernenden zu ermöglichen. Da der Chemieunterricht insgesamt kumulativ angelegt ist, liegt die Vermutung nahe, dass bisher diese Schülerinnen und Schüler aufgrund von frühen Verständnisproblemen den Anschluss verlieren und so bis zum mittleren Schulabschluss die angestrebten Ziele verfehlen.

Eine Ursache für diese Schwierigkeiten – und dies ist die Grundannahme des Projekts – ist vermutlich die fehlende Sichtbarkeit eines „roten Fadens“ im Lernprozess bzw. das Fehlen einer vernetzten Struktur grundlegender fachlicher Ideen und Konzepte bei vielen Schülerinnen und Schülern. Aber gerade das Vorhandensein solcher Strukturen ist nach lernpsychologischen Erkenntnissen die Voraussetzung dafür, in einem Lernprozess neue Informationen aufzunehmen und Kompetenzen entwickeln zu können. Dabei werden neue Ideen an bereits vorhandene Wissensstrukturen angebunden. Es geht darum, Wissen als ein mentales Netz aus grundlegenden fachlichen Ideen und Konzepten aufzubauen, das ein Verständnis chemischer Vorgänge ermöglicht.

Eine belastbare Wissensgrundlage ist eine der Voraussetzungen für die jeweils weitere Kompetenzentwicklung im Unterricht. Dabei wird Kompetenz als eine Disposition verstanden, die Personen befähigt, bestimmte Arten von Problemen erfolgreich zu lösen. Im Sinne dieses Kompetenzverständnisses müssen *Wissen und Können* kombiniert werden, um fachliche Anforderungen erfolgreich zu bewältigen. Dabei soll Wissen nicht als das Ergebnis eines reinen Faktenlernens verstanden werden, bei dem die Lernelemente zwar abrufbar sind, aber unverbunden nebeneinanderstehen und nicht zur Lösung von Problemen herangezogen werden können. Es geht um einen umfassenden Wissensbegriff, um strukturiertes Wissen, das ein Verstehen von Zusammenhängen und Handlungsmöglichkeiten beinhaltet.

Wissensstrukturen

Kumulatives Lernen

Kumulatives Lernen ist für ein anschlussfähiges und flexibel anwendbares Wissen in den Naturwissenschaften unabdingbar, wobei die hierarchische Funktion bestehender Lernelemente für den Erwerb neuer Elemente besonders zu beachten ist. Entsprechend muss auch der Unterricht an einem solchen Vernetzungsgedanken orientiert sein.

Fachdidaktische Literatur stellt daher schon lange die Forderung auf, die Vernetzung zu erleichtern, indem die zugrunde liegende Sachstruktur berücksichtigt wird. Diese in Netzen organisierten Sachstrukturanalysen könnten dann die Grundlage für die Curriculumsentwicklung und auch im Sinne eines *Advance*

Organizers die Planungsgrundlage für den Unterricht bilden. Advance Organizer erscheinen vor allem dann besonders geeignet, wenn sie dazu genutzt werden, langfristig Lernprozesse zu strukturieren. Auch Lernpsychologen schlagen vor, dass zum Zweck des Lernens sogenannte „Ankerideen“ in den Prozess der Wissensaneignung eingebracht werden sollen, die im Idealfall zum kumulativen Aufbau neuer Wissensstrukturen beitragen können.

Die neuere fachdidaktische Forschung greift die oben beschriebenen Ideen zum kumulativen Lernen in sogenannten „Learning Progressions“ auf. Learning Progressions beschreiben mögliche Wege der Kompetenzentwicklung und geben eine bestimmte Abfolge von Fähigkeiten und Kernideen vor, die die Schülerinnen und Schüler im Laufe einer längeren Zeitspanne erworben haben sollen, indem sie den gestellten Anforderungen gerecht werden und die erforderlichen Kompetenzen schrittweise, die verschiedenen Progressionsstufen durchschreitend, entwickeln (Abbott, 2014). Ein Beispiel für die Darstellung eines solchen Netzes in verschiedenen Progressionsstufen bietet das Projekt 2061 der American Association for the Advancement of Sciences (AAAS) (AAAS, 2007).

Learning Progressions

Vorgehensweise

Analog zur Vorgehensweise der AAAS wurden im hier vorgestellten Projekt zunächst *Kernideen* beschrieben, die die Basiskonzepte im Fach Chemie für das erste und zweite Lernjahr strukturieren. Diese wurden durch detaillierte *Beschreibungen* und *Diagnoseaufgaben* ergänzt. Die Kernideen wurden innerhalb der Basiskonzepte in einer sachlogischen Reihenfolge angeordnet, dabei wurden auch Zusammenhänge zu Kernideen anderer Basiskonzepte aufgezeigt. Das Ergebnis ist ein Überblick über hierarchisch gegliederte und miteinander verbundene Kernideen, die *Landkarte des Lernens*. Die Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang der vier Strukturelemente des Projekts.

Kernideen

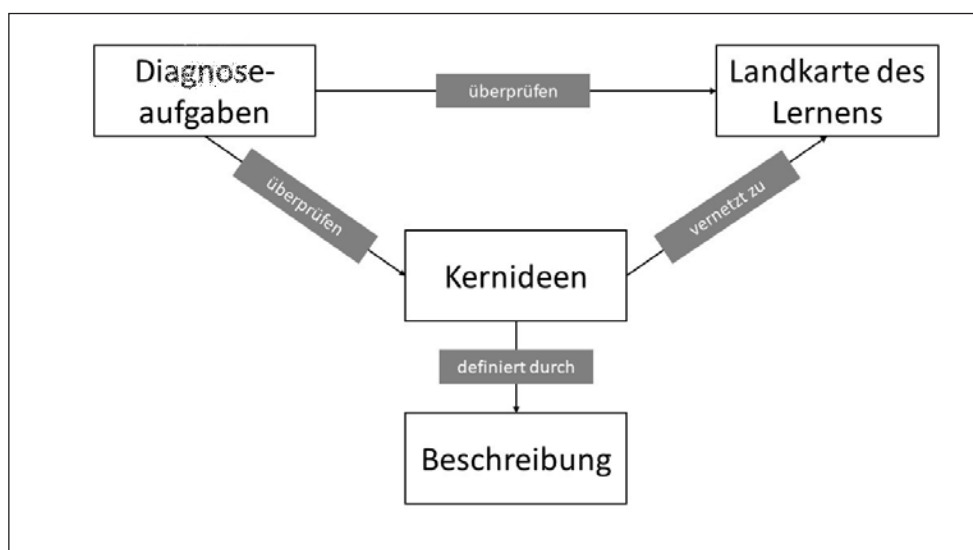


Abbildung 1: Zusammenhang der Strukturelemente des Projektes

Kernideen zur Strukturierung der Basiskonzepte

Für den Aufbau einer vernetzten Struktur des Gelernten sind in einem ersten Schritt einzelne Kernideen zu definieren. Unter einer Kernidee ist eine grundlegende Vorstellung bzw. Annahme der Chemie, die zum Verständnis eines

Themenfeldes beiträgt, zu verstehen. Kernideen gehen damit deutlich über die Abbildung einfacher Fakten hinaus, weil sie zentrale Annahmen der Chemie darstellen, die zur Erklärung verschiedener Phänomene und Zusammenhänge genutzt werden können. Eine Kernidee im Basiskonzept Chemische Reaktion lautet beispielsweise „*Chemische Reaktionen können durch das Donator-Akzeptor-Prinzip beschrieben werden*“. Kernideen beschreiben grundlegende Konzepte im Kompetenzbereich *Umgang mit Fachwissen* und sollen durch die strukturierte Verknüpfung ein anschlussfähiges Lernen ermöglichen. Sie stellen somit die Voraussetzung für die Bewältigung weiterer Aufgaben sowohl im Kompetenzbereich *Umgang mit Fachwissen* als auch in den Kompetenzbereichen *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* dar.

Erwartungen und Grenzen

Jede Kernidee wird innerhalb des Projekts nach einem einheitlichen Schema beschrieben (siehe Abbildung 2). Die Kernideen sind den in den Curricula formulierten Basiskonzepten *Chemische Reaktion* (CR), *Struktur der Materie* (SdM) und *Energie* (E) auf dem jeweiligen Stand eines Lernjahres zugeordnet und werden fortlaufend nummeriert (1). Sie werden durch eine aussagekräftige Beschreibung definiert (2). Erwartungen beschreiben, welche Erkenntnisse und Fähigkeiten die Schülerinnen und Schüler besitzen müssen, um die Kernidee im zu diesem Zeitpunkt erforderlichen Umfang verstanden zu haben und anwenden zu können (3). Zugleich wird bei den Grenzen aber auch angegeben, welche fachlichen Aspekte im Zusammenhang mit dieser Kernidee noch nicht bekannt sein müssen (4). Für diese Einschränkung kann es verschiedene Gründe geben, z.B. dass diese Aspekte Teil einer späteren Kernidee sind oder ihre Behandlung in der Schule generell nicht sinnvoll erscheint. Überlegungen zu bekannten fehlerhaften Schülervorstellungen beschließen die Ausführungen zu den Kernideen (5). Sie geben Hinweise auf mögliche Lernschwierigkeiten und sollten folglich einen Einfluss auf die Gestaltung des Unterrichts haben, können aber auch zur Konstruktion von Diagnoseaufgaben verwendet werden (siehe Kap. Diagnoseaufgaben: Konstruktion und Funktion).

Diagnoseaufgaben

Basiskonzept: Struktur der Materie	Lernjahr II
Idee 4:	(1)
Die Verteilung der Elektronen in der Atomhülle kann durch das Schalenmodell beschrieben werden.	(2)
Erwartungen:	
Schülerinnen und Schüler wissen, dass nach dem Schalenmodell ... <ul style="list-style-type: none"> – sich die Elektronen in der Atomhülle nur in bestimmten Bereichen bewegen. – Schalen gedachte Aufenthaltsbereiche für Elektronen sind. – Elektronen die Schalen nach bestimmten Prinzipien besetzen (innerste Schale max. 2 Elektronen, äußere Schale max. 8 Elektronen). – die Elektronen von innen nach außen aufgefüllt werden. – eine vollbesetzte Außenschale der Edelgaskonfiguration entspricht. 	(3)
Grenzen:	
Schülerinnen und Schüler müssen – bezogen auf diese Kernidee – nicht wissen, ... <ul style="list-style-type: none"> – dass es die Besetzungsregel nach der Formel $2n^2$ gibt. – dass den Schalen entsprechende Energieniveaus zuzuordnen sind. – dass sich das Schalenmodell ausgehend von den Ionisierungsenergien herleiten lässt. – dass sich der Aufbau des PSE aus dem Schalenmodell ableiten lässt. – dass bestimmte Schalen auch mit mehr als 8 Elektronen besetzt werden können. 	(4)
Gängige fehlerhafte Schülervorstellungen:	(5)
– Schalen werden materiell (wie z.B. beim Zwiebelaufbauprinzip) verstanden.	

Abbildung 2: Beschreibung einer Kernidee

Landkarte des Lernens

Die strukturierte Übersicht der Kernideen wird als *Landkarte des Lernens* bezeichnet und bildet eine sinnvolle Reihenfolge der grundlegenden Kernideen und ihrer Abhängigkeiten ab. Sie stellt auf der einen Seite eine Planungshilfe für Lehrerinnen und Lehrer dar, mit der die Lehrkräfte logisch abgestimmte Unterrichtsschritte entwickeln können und zusätzlich den Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler begleiten und kontrollieren können. Auf der anderen Seite kann die Landkarte des Lernens auch verwendet werden, um den Schülerinnen und Schülern die Zusammenhänge der Kernideen zu veranschaulichen und so eine Lernhilfe darzustellen. Das Prinzip der *Landkarte des Lernens* nimmt dabei bestehende Konzeptionen auf, insbesondere Konzeptionen der American Association for the Advancement of Sciences (AAAS). Selbstverständlich bewegen sich die Inhalte der Landkarte des Lernens innerhalb des Rahmens des Kernlehrplans und bilden dabei nur einen Teil der Kernlehrplan-Kompetenzen ab, sodass bei der Planung von Unterricht auch alle weiteren Kompetenzen des Kernlehrplans berücksichtigt werden müssen.

In der grafischen Darstellung der *Landkarte des Lernens* werden die Abhängigkeiten, die zwischen den Kernideen bestehen, durch rote und schwarze Pfeile gekennzeichnet. Ein roter Pfeil („roter Faden“) macht deutlich, dass die nachfolgende Idee nur entwickelt werden kann, wenn die vorhergehende Idee verstanden wurde. In Abbildung 3 ist als Beispiel dafür ein entsprechender Ausschnitt der Karte gezeigt.

logische
Unterrichtsschritte

roter Pfeil =
roter Faden

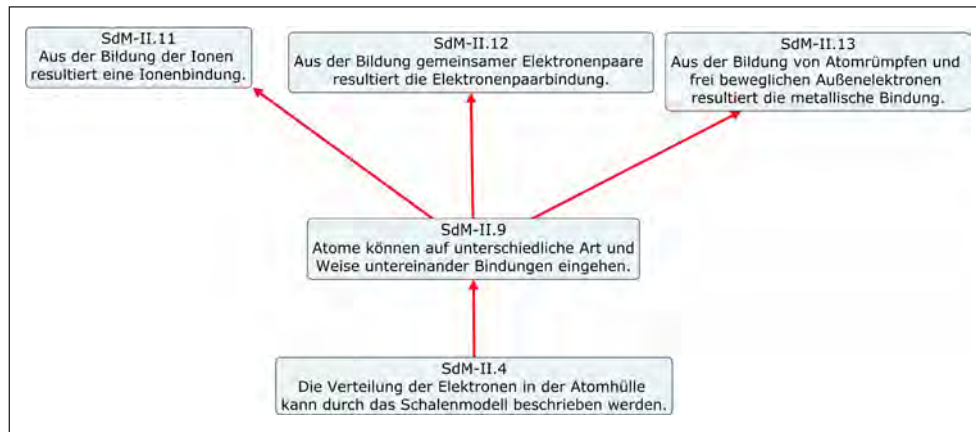


Abbildung 3: Darstellung eines „roten Fadens“ innerhalb des Basiskonzepts Struktur der Materie, Lernjahr II

In der nachfolgenden Abbildung 4 sieht man einen anderen Ausschnitt, in dem sowohl ein schwarzer Pfeil als auch rote Pfeile die Kernideen verbinden.

Ohne die Kenntnis der Kernidee „Atome können Ionen bilden“ können die Ideen „Salze sind aus Ionen aufgebaut“ und „Aus der Bildung von Ionen resultiert eine Ionenbindung“ nicht verstanden werden. Daher werden diese unmittelbaren Abhängigkeiten durch rote Pfeile dargestellt. Um die Erkenntnis aufzunehmen, dass Salze aus Ionen aufgebaut sind, ist das Wissen um die Ionenbindung nicht unbedingt notwendig, aber es besteht selbstverständlich ein deutlicher inhaltlicher Zusammenhang. Daher wird bei dieser Verknüpfung ein schwarzer Pfeil verwendet. Es muss allerdings festgestellt werden, dass sowohl die Verbindungen an sich als auch die Art der Verbindungen zwischen den Kernideen zunächst hypothetischer Natur sind und von der Projektgruppe anhand theoretischer Annahmen und der eigenen Unterrichtserfahrung getroffen wurden. In einem zweiten Schritt werden die angenommenen Zusammenhänge empirisch überprüft (siehe Kap. 4.) und ggf. überarbeitet.

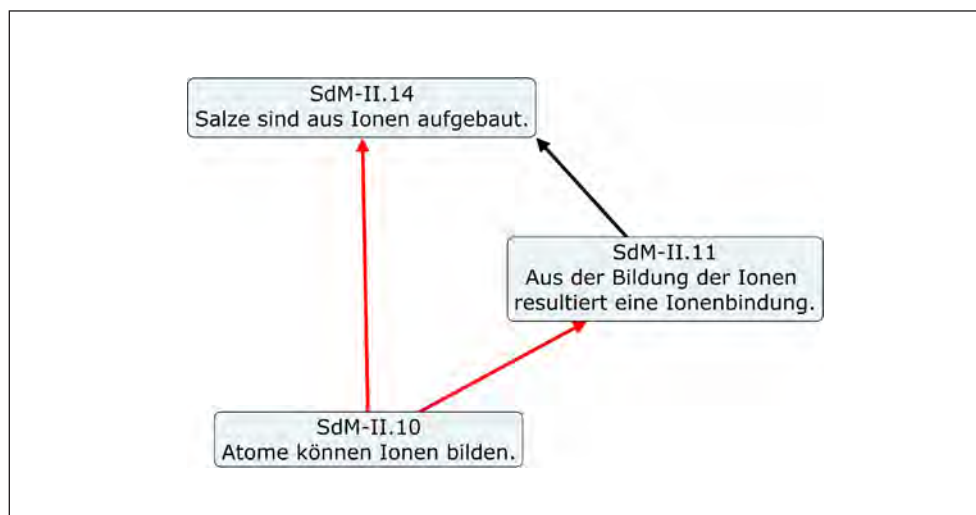


Abbildung 4: Darstellung von Kernideen, die durch rote und schwarze Pfeile innerhalb des Basiskonzepts Struktur der Materie, Lernjahr II verknüpft sind

Diagnoseaufgaben – Konstruktion und Funktion

Um Aussagen über die Qualität der entwickelten *Landkarte des Lernens* sowie die Gültigkeit der hypothetischen Beziehungen zwischen den Kernideen treffen zu können, muss ein auf die Kernideen abgestimmter Leistungstest eingesetzt werden, der die Annahmen empirisch absichert. Zu jeder Kernidee gibt es Diagnoseaufgaben, um zu klären, inwieweit die Kernidee von den Lernenden bereits beherrscht wird oder nicht. Die Diagnoseaufgaben umfassen zwei mögliche Aufgabentypen:

- Multiple-Choice-Aufgaben, bestehend aus vier Antwortmöglichkeiten mit einer richtigen Antwortmöglichkeit (Attraktor) und drei falschen Antworten (Distraktoren) (siehe Abbildung 5)
- Halboffene Aufgaben, die eine kurze, offene Antwort erfordern (siehe Abbildung 6)

Ein Kilogramm Brot in einer dicht verschlossenen Tüte ist nach einer Woche verschimmelt und sieht so aus:



Wenn man die verschlossene Brottüte wiegt, kann man feststellen, dass ...

- die Brottüte leichter geworden ist, weil die Schimmelpilze das Brot zerstört haben.
- die Brottüte schwerer geworden ist, weil die Schimmelpilze auf dem Brot entstanden sind.
- das Gewicht der Brottüte sich nicht verändert hat, weil Schimmelpilze nichts wiegen.
- das Gewicht der Brottüte sich nicht verändert hat, weil weder Stoffe in die Tüte hineingelangen noch aus der Tüte herausgelangen können.

Abbildung 5: Beispiel einer Multiple-Choice-Aufgabe zur Kernidee Chemische Reaktion, Lernjahr I, Idee 3: *Bei chemischen Reaktionen ist die Masse der Ausgangsstoffe gleich der Masse der Endstoffe.*

1. Gib für das nebenstehende Element die Anzahl der Protonen an.

2. Ergänze sinnvoll:
In einem Atom ist die Anzahl der Protonen gleich der Anzahl der ...

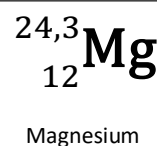


Abbildung 6: Beispiel einer halboffenen Aufgabe zur Kernidee Struktur der Materie, Lernjahr II, Idee 2: *Jedes Element wird durch die Anzahl seiner Protonen und Elektronen definiert.*

Um eine vergleichbare Formulierung aller Diagnoseaufgaben sicherzustellen, wurde eine Liste mit Kriterien erstellt, die standardisierte Gestaltungsmerkmale beschreibt (siehe Abbildung 7).

<p><i>Checkliste: Wie muss eine gute Testaufgabe aussehen?</i></p> <p><i>Allgemeine Kriterien:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Einfache Satzkonstruktionen verwenden – Substantivierungen vermeiden – Verneinungen und doppelte Verneinungen vermeiden – Fremdwörter/Fachbegriffe, die nicht Teil der Aufgabenanforderung sind, vermeiden – Wichtige Begriffe hervorheben (Fettdruck, Unterstreichen) – Eindeutige Gliederung vornehmen (Absätze) – Funktionale Illustration verwenden (Verweis auf die Abbildung in der Aufgabenstellung, keine rein dekorativen Abbildungen) – Logische Reihenfolge der Informationen in der Aufgabenstellung beachten – Zusammenhang zwischen Sätzen sprachlich verdeutlichen (Konjunktionen, Satzteile aufeinander beziehen) – Geringe Informationsdichte sicherstellen, zentrale Begriffe wiederholen – Bei Multiple-Choice-Aufgaben eindeutig richtige oder eindeutig falsche Antwortmöglichkeiten formulieren – Bei Multiple-Choice-Aufgaben kurze und prägnante Antwortmöglichkeiten wählen
--

Abbildung 7: Kriterien zur Aufgabengestaltung

2. Exemplarische Dokumentation von Materialien

Im Folgenden werden – ergänzend zu den oben im Text bereits erläuterten Beispielen – einige Beispiele für die entwickelten Materialien vorgestellt. Um ein möglichst eindeutiges Verständnis der Kernideen zu erhalten, sind deren Beschreibungen von besonderer Bedeutung. Ein vorgegebenes Formular stellt sicher, dass die Beschreibung aller Kernideen in identischer Weise vorgenommen wurde. Das folgende Beispiel bezieht sich auf die zweite Kernidee im Basiskonzept *Chemische Reaktion* des ersten Lernjahres.

Basiskonzept: Chemische Reaktion	Lernjahr I
Idee 2:	
Bei chemischen Reaktionen werden die Atome neu gruppiert.	
Erwartungen:	
Schülerinnen und Schüler wissen, dass ... <ul style="list-style-type: none"> – eine chemische Reaktion stattfindet, wenn sich die Atome der Ausgangsstoffe/Edukte trennen und zu Endstoffen/Produkten neu anordnen. – die Atome sich während der chemischen Reaktion nicht verändern. – bei chemischen Reaktionen Ausgangsstoffe/Edukte zu unterschiedlich vielen Endstoffen/Produkten reagieren können. 	
Grenzen:	
Schülerinnen und Schüler müssen – bezogen auf diese Kernidee – nicht wissen, ... <ul style="list-style-type: none"> – wie der Begriff Bindung definiert ist und können daher die Umgruppierung der Atome nicht mit Bindungsbruch und Bindungsbildung erläutern. – wie auf der Ebene der kleinsten Teilchen zwischen Molekül und Atom unterschieden wird. 	
Gängige fehlerhafte Schülervorstellungen:	
<ul style="list-style-type: none"> – Die Stoffe werden bei chemischen Reaktionen (vor allem bei Verbrennungen) unwiederbringlich zerstört (Vernichtungsvorstellung). – Bei einer chemischen Reaktion existieren die Stoffe weiter, es ändern sich nur einige Eigenschaften (Bsp. Rost = „rostiges Eisen“). – Die neuen Eigenschaften, die sich aus einer chemischen Reaktion ergeben, existieren bereits vorher in den Ausgangsstoffen/Edukten. – Chemische Reaktionen werden als mechanisches Mischen und Entmischen von Stoffen verstanden. – Neue Stoffe bestehen aus neuen kleinsten Teilchen (Bsp. „Rostteilchen“). 	

Abbildung 8: Beispiel für die Beschreibung einer Kernidee

Die entwickelten Kernideen wurden nach ihrer logischen Abfolge hierarchisch geordnet und mit Pfeilen verbunden. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt aus der *Landkarte des Lernens* für das Basiskonzept *Struktur der Materie*. Hier lässt sich gut erkennen, dass zunächst einige Kernideen in einer linearen Abfolge aufeinander aufbauen, bevor sich eine Aufgliederung in mehrere neue, parallel angeordnete Kernideen ergibt.

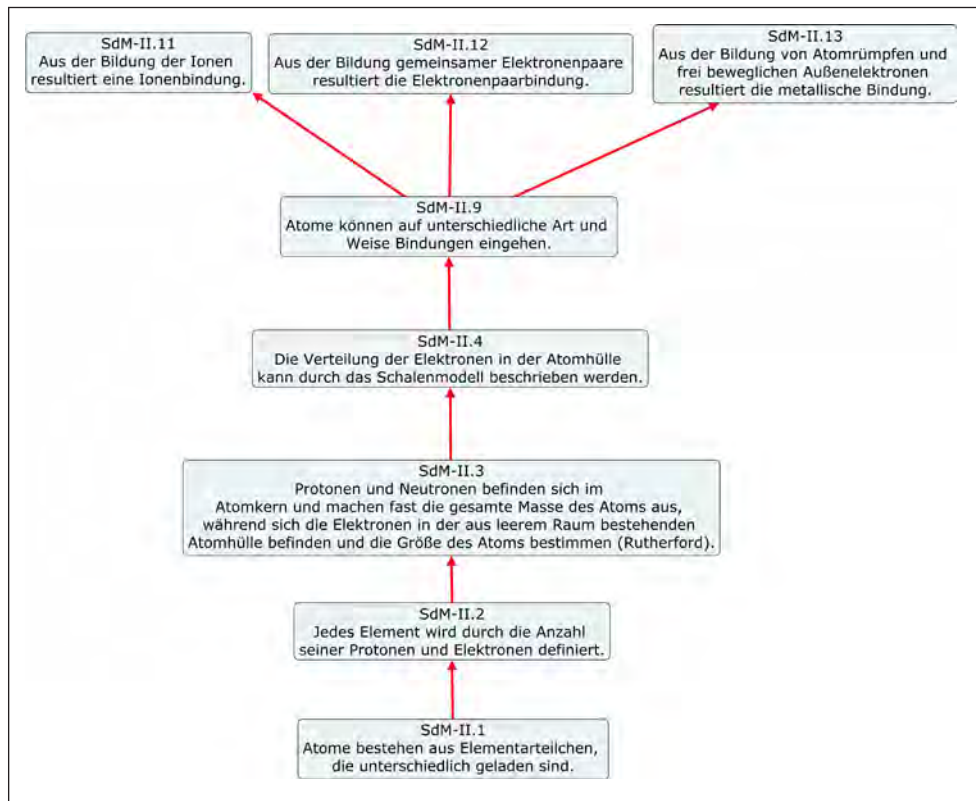


Abbildung 9: Darstellung eines „roten Fadens“ innerhalb des Basiskonzepts Struktur der Materie, Lernjahr II

Dabei können auch Kernideen aus unterschiedlichen Basiskonzepten miteinander verbunden sein, wie Abbildung 10 zeigt.

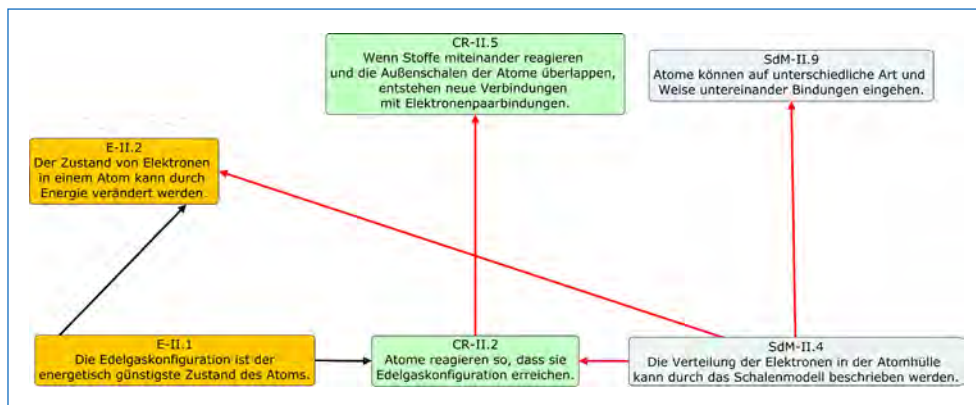


Abbildung 10: Vernetzung zwischen den Basiskonzepten

Insgesamt ist die *Landkarte des Lernens* zu umfangreich, um sie im Rahmen dieser Publikation vollständig darstellen zu können. Eine vorläufige Version, die sich nach der empirischen Überprüfung aber noch verändern kann, ist unter www.sinus.nrw.de verfügbar. Einen ersten Eindruck kann die Darstellung der Kernideen des Basiskonzepts *Energie* für die ersten beiden Lernjahre vermitteln (siehe Abbildung 11).

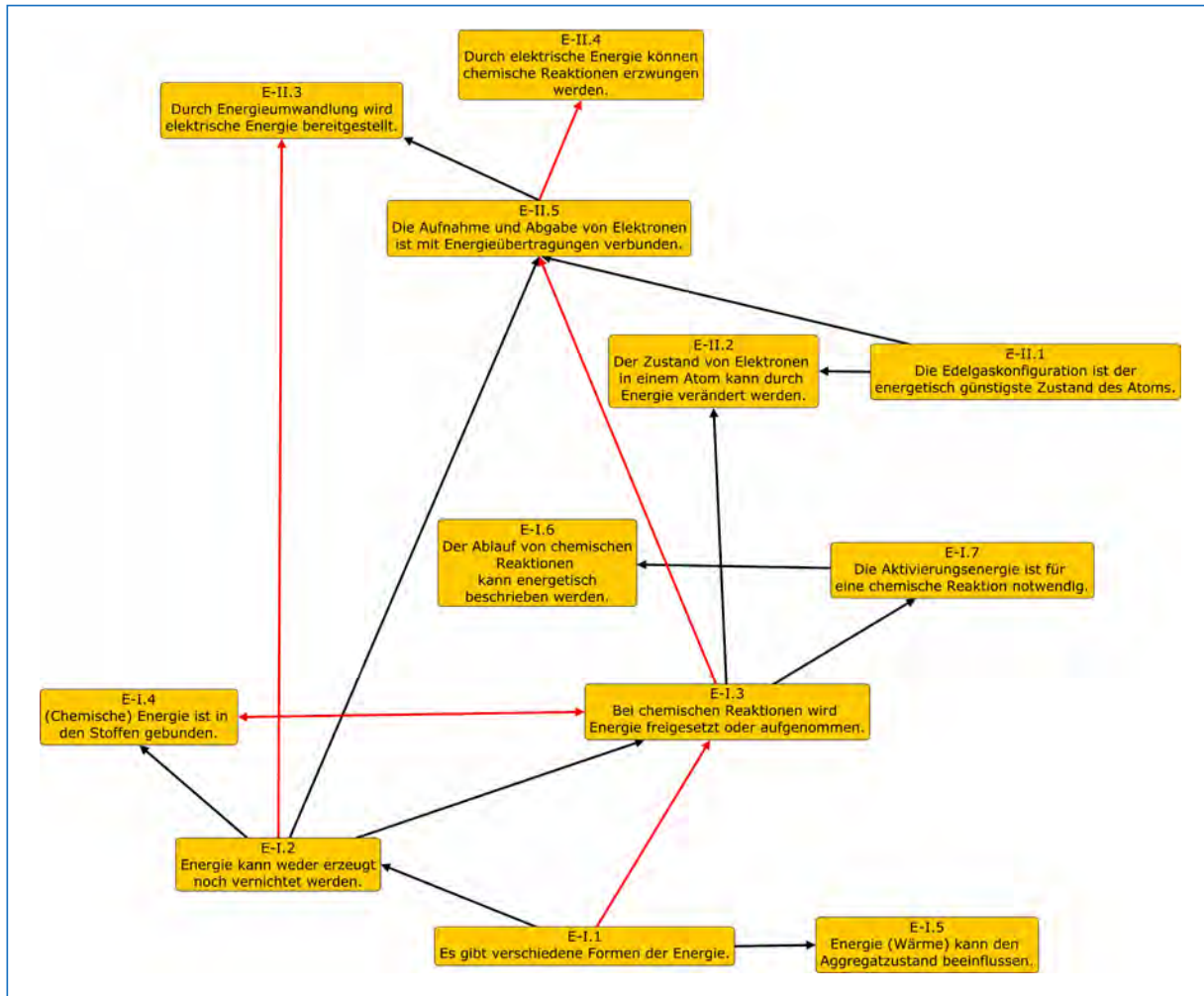


Abbildung 11: Darstellung der Landkarte zu den Kernideen des Basiskonzepts Energie

Die Gültigkeit der in der *Landkarte des Lernens* angenommenen Beziehungen wird durch Diagnoseaufgaben überprüft, die einzeln verschiedene mit der Kernidee verbundene Erwartungen abprüfen (siehe Abbildung 12).

Kernidee: Bei chemischen Reaktionen wird Energie freigesetzt oder aufgenommen.

Erwartungen: Schülerinnen und Schüler wissen, dass ...

- eine chemische Reaktion, bei der Energie freigesetzt wird, exotherm genannt wird.
- eine chemische Reaktion, bei der Energie aufgenommen wird, endotherm genannt wird.
- bei einer exothermen Reaktion der Gehalt an Energie in den Produkten geringer als in den Edukten ist.
- bei einer endothermen Reaktion der Gehalt an Energie in den Produkten größer als in den Edukten ist.
- die Energiedifferenz z. B. in Form von Licht- und Wärmeenergie freigesetzt bzw. aufgenommen werden kann.

Diagnoseaufgaben:

1. Bei der Zubereitung von Spiegeleiern führst du ständig Wärme zu, bis das Eiweiß nicht mehr klar und flüssig, sondern fest und weiß ist. Welche Aussage ist richtig?
 - Dies ist eine exotherme Reaktion.
 - Dies ist eine endotherme Reaktion.
 - Dies ist keine chemische Reaktion.
 - Energie spielt bei diesem Vorgang keine Rolle.
2. Bei exothermen Reaktionen ist der Energiegehalt der Endstoffe geringer als derjenige der Ausgangsstoffe. Wo ist diese „fehlende“ Energie?
 - Die Energie hat reagiert.
 - Es ist Energie in Form von Licht und/oder Wärme freigesetzt worden.
 - Die Energie ist verbrannt worden.
 - Es ist Energie in Form von Licht und/oder Wärme aufgenommen worden.

Abbildung 12: Beispiel für zwei Diagnoseaufgaben im Basiskonzept Energie

3. Erkenntnisse aus der Arbeit mit der Landkarte des Lernens

Wenn man sich mit der Landkarte des Lernens beschäftigt und sie für die Planung und Evaluation des Unterrichts einsetzt, ergeben sich weitere Erkenntnisse für den eigenen Unterricht, die in diesem Kapitel dargestellt werden.

Zentralität im Lernprozess und im Unterricht

Die explizite Formulierung und Festlegung von Kernideen führen zu einer anderen Auseinandersetzung mit dem eigenen Unterricht. Bei der Planung steht weniger die Abfolge bestimmter inhaltlicher Beispiele im Vordergrund, sondern vielmehr eine am Verständnisprozess der Schülerinnen und Schüler orientierte Anordnung zentraler Vorstellungen und Konzepte des Fachs Chemie.

Aber ist jede Idee auch eine Kernidee? Bei der Vernetzung der Kernideen zur Landkarte des Lernens stellte sich heraus, dass einzelne Ideen, die üblicherweise im Unterricht behandelt werden, kaum in Abhängigkeit zu anderen Kernideen stehen. Dies wurde als ein deutliches Indiz interpretiert, dass derartige Lerninhalte keine „Kernideen“ im Sinne eines anschlussfähigen Lernens darstellen. Ein Beispiel hierfür ist die zunächst formulierte Idee zum Basiskonzept Chemische Reaktion im Lernjahr II: *Elektrochemische Reaktionen finden in industriellen Verfahren praktische Anwendung*. Diese Idee konnte nicht durch rote oder schwarze Pfeile sinnvoll mit anderen Kernideen vernetzt werden. Daher wurde sie nicht als Kernidee in die Karte aufgenommen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Idee sich nicht gewinnbringend im Unterricht einsetzen lässt oder dass sie generell unwichtig ist. Nicht vernetzte Ideen können z. B. eine besonde-

re Bedeutung für andere Kompetenzbereiche haben oder aber zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal bedeutsam werden. Die bisherige Landkarte des Lernens berücksichtigt ausschließlich die ersten beiden Lernjahre im Fach Chemie, wird aber in einem weiteren Schritt kontinuierlich erweitert, sodass ggf. später relevant werdende Verknüpfungen noch ergänzt werden. Was sich aber sehr gut an der Landkarte des Lernens ablesen lässt, ist, welche Ideen für den Aufbau fachlicher Konzepte im betrachteten Zeitraum besonders zentral sind oder einen „roten Faden“ bilden und daher unbedingt verstanden werden müssen, um ein anschlussfähiges Wissen zu erwerben.

**anschlussfähiges
Wissen**

Die Landkarte des Lernens verdeutlicht entsprechend die Bedeutung einzelner Kernideen im Lernprozess der Schülerinnen und Schüler. Einige Ideen stellen sozusagen eine Art „Endpunkt“ in der Karte dar, beispielsweise die Kernidee Struktur der Materie, Lernjahr I, Idee 10 (*Stoffe lassen sich mischen und Stoffgemische wieder in Reinstoffe trennen*), da von dieser Kernidee keine weiteren Pfeile abgehen.

In der Unterrichtspraxis nimmt die Thematisierung der Stofftrennung in der Regel, auch zeitlich gesehen, einen großen Stellenwert ein. Dies kann durch das Potenzial zur Förderung im Bereich der prozessbezogenen Kompetenzen gerechtfertigt werden. Aus der Perspektive des Aufbaus anschlussfähigen Fachwissens oder der Vernetzung grundlegender Konzeptionen für das Fach Chemie spielt sie allerdings nur eine untergeordnete Rolle.

Ebenso gibt es Kernideen, die im Sinne eines „roten Fadens“ nur wenige Verknüpfungen zu weiterführenden Ideen haben (Beispiel: Struktur der Materie, Lernjahr II, Idee 13: *Aus der Bildung von Atomrümpfen und frei beweglichen Außenelektronen resultiert die metallische Bindung*). Hier ist nur eine Verknüpfung zum Bereich Elektrochemie des dritten Lernjahres möglich, (fachübergreifend jedoch zu wichtigen Konzepten der Physik und der Technik). Diese Kernideen sind für den weiteren Lernprozess zwar von Bedeutung, weisen jedoch nicht dieselbe Tragweite auf wie andere Ideen (Beispiel: Struktur der Materie, Lernjahr II, Idee 12: *Aus der Bildung gemeinsamer Elektronenpaare resultiert die Elektronenpaarbindung*), die aufgrund ihrer hochgradigen Vernetzung im Lernprozess eine zentrale Rolle einnehmen. Nachfolgender Wissenserwerb ist ohne ein Verständnis dieser Ideen nicht möglich. Im Unterricht muss daher auf die Vermittlung dieser zentralen Ideen besonders Wert gelegt werden, weil sie Voraussetzung für weiteres anschlussfähiges Wissen sind.

Kernideen

Entscheidungen zur Reihenfolge der Kernideen und zu Konzepten

Im Vernetzungsprozess wurde deutlich, dass in der Regel eine eindeutige Abfolge der Kernideen beschrieben werden kann, wobei die angenommenen Beziehungspfeile aktuell empirisch geprüft werden. In seltenen Fällen sind allerdings auch verschiedene Strukturierungen des Lernprozesses und damit verbunden unterschiedliche Abfolgen der Kernideen möglich.

**Abfolge der
Kernideen**

Zum Beispiel kann ausgehend von der Kernidee *Struktur der Materie-II.3* die Kernidee *Struktur der Materie-II.7* über den direkten Weg erreicht werden oder aber über den Umweg über die Kernidee *Struktur der Materie-II.4* (siehe Abbildung 13).

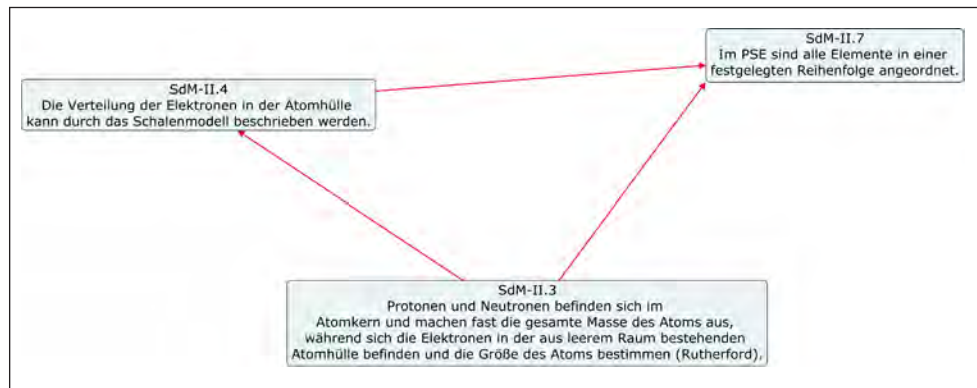


Abbildung 13: Kernideen zur Struktur der Materie

Insgesamt stellt die Landkarte des Lernens einen Vorschlag für ein sinnvolles Vorgehen im Hinblick auf die Abfolge zentraler Vorstellungen und Konzepte dar, was aber nicht bedeutet, dass diese inhaltlich nicht individuell ausgestaltet werden können. Die Netzkarte kann folglich dazu benutzt werden, die bisherige Vorgehensweise im Unterricht kritisch zu reflektieren oder aber auch dazu dienen, Schülerinnen und Schülern Zusammenhänge explizit aufzuzeigen.

Die Landkarte des Lernens soll so zu einer kritischen Betrachtung bei der Einführung bestimmter Konzepte anregen. Zum Beispiel ist der Zeitpunkt zur Einführung der Atomvorstellung im Verlauf des ersten Lernjahres diskussionswürdig. In der Landkarte des Lernens wird eine sehr frühe Einführung des Konzepts „Atom“ im Zusammenhang mit der chemischen Reaktion abgebildet. Theoretisch ist aber auch die Verwendung einer Vorstufe z. B. durch „Teilchen“, „Stoffteilchen“ oder „Bausteine der kleinsten Teilchen“ denkbar. Allerdings bringt die Verwendung des Teilchen-Konzepts zur Interpretation chemischer Reaktionen weitere Probleme mit sich und wird daher fachdidaktisch kontrovers diskutiert. Hier kann die Landkarte einen Beitrag zur eigenen Standortbestimmung leisten.

4. Schlussfolgerungen, Diskussion und Perspektiven

Die *Landkarte des Lernens* ist kein abgeschlossenes Produkt, vielmehr befindet sie sich noch in einem Entwicklungs- und Überprüfungsprozess, mit dem sich eine weitere SINUS-Projektphase bis zum Jahr 2020 beschäftigen wird. Aus zeitlichen Gründen wurde die *Landkarte des Lernens* zunächst auf die ersten beiden Jahre des Chemieunterrichts begrenzt. Inhaltlich bilden – strukturiert durch den Kernlehrplan – allerdings die ersten drei Jahre des Chemieunterrichts bis zum Mittleren Schulabschluss eine inhaltliche Einheit. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die bestehende *Landkarte des Lernens* auf das dritte Jahr des Chemieunterrichts auszuweiten, sodass eine vollständige Übersicht der Kernideen für die Sekundarstufe I zur Verfügung steht.

empirische
Prüfung

Neben der Weiterentwicklung soll auch eine empirische Prüfung der in der *Landkarte des Lernens* dargestellten Abhängigkeiten ein Bestandteil der weiteren Projektphase sein. Die dargestellten Abhängigkeiten durch rote bzw. schwarze Pfeile sind bisher noch hypothetisch und beruhen ausschließlich auf dem Erfahrungswissen der Projektgruppe. Um belastbare Erkenntnisse über die Richtigkeit dieser Annahmen und über den Nutzen der Netzkarte für den Lernerfolg bzw. für den Erwerb von Kompetenzen zu erhalten, müssen diese

Abhängigkeiten im Hinblick auf ihre empirische Gültigkeit geprüft werden. Zu diesem Zweck werden zwei verschiedene Evaluationsschritte durchgeführt. Zum einen werden die zu den Kernideen gehörigen Diagnoseaufgaben in verschiedenen Lernjahren eingesetzt, um so den Kompetenzerwerb der Schülerinnen und Schüler abbilden zu können. Anhand der gelösten bzw. nicht gelösten Diagnoseaufgaben kann geprüft werden, ob die Kenntnis bestimmter Kernideen tatsächlich eine notwendige Voraussetzung für den Erwerb folgender Kernideen ist. Zum anderen soll die *Landkarte des Lernens* in einer Feldstudie über einen Zeitraum von einem Schuljahr in mehreren Lerngruppen an unterschiedlichen Schulen als Planungshilfe eingesetzt werden. Die Lernentwicklung der Schülerinnen und Schüler dieser Klassen wird anschließend mit der Entwicklung von geeigneten Kontrollklassen verglichen. Begleitet wird dieser Prozess von der Fachdidaktik Chemie an der Universität Duisburg-Essen. Im Anschluss daran findet eine Überarbeitung der Netzkarte bzw. der Abhängigkeiten zwischen den Kernideen aufgrund der empirischen Befunde statt.

Evaluationsschritte

Exkurs: Wissenschaftliche Vorgehensweise zur Überprüfung der Landkarte des Lernens:

Die Aufgaben werden, bevor sie zur Evaluation der *Landkarte des Lernens* eingesetzt werden, zunächst in einer Pilotstudie auf ihre Qualität im Hinblick auf eine angemessene Schwierigkeit und ihre Reliabilität geprüft.

In der Pilotstudie werden zwei Messzeitpunkte realisiert, um eine möglichst große Leistungsbreite unter den Schülerinnen und Schülern abbilden zu können. Dazu werden ca. je 250 Schülerinnen und Schüler des ersten und zweiten Lernjahres zum Schuljahresende getestet. Da kein Schüler alle 300 Diagnoseaufgaben bearbeiten kann, wird ein sogenanntes Balanced Incomplete Block Design umgesetzt, indem ein Schüler bzw. eine Schülerin immer nur die Aufgaben zu einem bestimmten Ausschnitt (Block) aus der *Landkarte des Lernens* erhält. Ziel ist es, auf diesem Weg ca. 70 Antworten pro Diagnoseaufgabe zu erhalten. Die erste Datenerhebung zur Prüfung der Qualität der Diagnoseaufgaben erfolgte im Sommer 2017 und wird derzeit noch ausgewertet. In der anschließenden zweiten Datenerhebung im Schuljahr 2017/18 wird der ggf. überarbeitete Fachwissenstest zu drei Messzeitpunkten (Schuljahresbeginn / -mitte / -ende) eingesetzt, um die hypothetischen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Kernideen zu untersuchen. Hier werden pro Beziehung zwischen zwei Kernideen Testdaten von ca. 100 Schülerinnen und Schülern erhoben. Folgt man der Annahme, dass zwischen zwei Kernideen „A“ und „B“ eine Abhängigkeit besteht, lösen im Idealfall alle Schülerinnen und Schüler, die die Aufgaben zur Kernidee „B“ richtig gelöst haben, auch die Aufgaben zu Kernidee „A“. In diesem Fall wäre die angenommene Beziehung bestätigt. Im anderen möglichen Extremfall löst keine/-r der Schülerinnen und Schüler, die die Aufgaben zu Kernidee „B“ gelöst haben, die Aufgaben zur Kernidee „A“, wodurch die Abhängigkeit zwischen den Kernideen widerlegt wäre. Natürlich sind auch Mischfälle zu erwarten, die über einen Schwellenwert entschieden werden. Die angenommenen Beziehungen sollen anhand statistischer Methoden wie der Cross-Lagged-Panel-Analyse (Vorhersage der Leistung zu einem späteren Zeitpunkt auf Basis der Daten zu einem früheren Zeitpunkt), des McNemar-Tests (Verteilung der Personen auf Gruppen von „Lösern“ und „Nicht-Lösern“ einer Aufgabe) und von Bayes'schen Netzen (Prüfung der hierarchischen Struktur des Gesamtnetzes) überprüft werden.

Pilotstudie

Um Lehrkräften neben der *Landkarte des Lernens* auch konkrete Anregungen zur Vermittlung der Kernideen geben zu können, sollen im weiteren Projektverlauf zu ausgewählten Kernideen zusätzliche Impulse für den Unterricht entwickelt werden, die dann als Begleitmaterial zur Netzkarte veröffentlicht werden. Diese Impulse stehen selbstverständlich im Zusammenhang mit dem Kernlehrplan, die entsprechenden Bezüge werden ausgewiesen.

Der bisherige Fokus der *Landkarte des Lernens* lag auf der Darstellung vernetzter grundlegender Kompetenzen, die für den Erwerb eines anschlussfähigen Wissens unabdingbar sind. Dies war insbesondere durch das schlechte Abschneiden der nichtgymnasialen Schulformen im Ländervergleich motiviert. Durch eine Erweiterung und stärkere Ausdifferenzierung der bestehenden *Landkarte des Lernens* in Bezug auf unterschiedliche Leistungsniveaus könnte eine universellere Verwendbarkeit der Karte, z. B. auch für das Gymnasium, sichergestellt und es könnten zugleich auch Möglichkeiten zur Differenzierung geschaffen werden.

Literatur

- Abbott, S. (2014). *The Glossary of Education Reform*. Learning Progression. Verfügbar unter <http://www.edglossary.org/learning-progression/> [20.03.2018].
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (2007). *Atlas of Science Literacy*. Volume 2. Washington, DC: AAAS.
- Pant, H. A., Stanat, P., Schroeders, U., Roppelt, A., Siegle, T. & Pöhlmann, C. (Hrsg.) (2013). *IQB-Ländervergleich 2012: Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I*. Münster: Waxmann.

Projektgruppe

Prof. Dr. Maik Walpuski, Fachdidaktik der Universität Duisburg-Essen
 Kübra Celik, Fachdidaktik der Universität Duisburg-Essen
 Ines Op de Hipt, Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen
 Mattias Otto, Bezirksregierung Düsseldorf
 Jens Austermann, QUA-LiS NRW
 Christin Theyßen, ZfsL Duisburg
 Veronika Wolters, Gesamtschule Nettetal
 Birgit Hegemann, Robert-Schuman-Europaschule Willich
 Alexander Rother, Robert-Schuman-Europaschule Willich
 Angelika Schwarz, Anne-Frank-Gesamtschule Rheinkamp / Moers
 Michael Schön, Anne-Frank-Gesamtschule Rheinkamp / Moers
 Sarah Schiemenz, Gesamtschule Duisburg Meiderich

Ein besonderer Dank gilt Hartmut Melzer, der das Projekt initiiert und zunächst geleitet hat, aber während der Projektphase pensioniert wurde.