

S_N1 oder S_N2? – Fachsprachentraining und szenisches Lernen

Dr. habil. Harald Kosegarten, Linden

Niveau: Sek. II

Dauer: 1–5 Doppelstunden

Bezug zu den KMK-Bildungsstandards

Fachwissen: Mechanismus der nukleophilen Substitution, Unterschied zwischen S_N1 und S_N2, Reaktionsbedingungen, Enantiomere (Struktur und Wirkung)

Erkenntnisgewinnung: Anwenden von Fachsprache und Modellen zur Erklärung des Mechanismus der nukleophilen Substitution, szenisches Lernen durch Körperbewegung, Sprechen und Hören zur Visualisierung und Veranschaulichung von abstrakten chemischen Mechanismen, Problemlösung von abiturrelevanten Aufgaben

Kommunikation: eigenständige Gestaltung und Vorführung von Rollenspielen, fachlich korrektes und folgerichtiges Argumentieren, Vertreten eigener Standpunkte zu chemischen Sachverhalten und selbstkritische Reflexion von Einwänden, Vertreten von Standpunkten gegenüber der Lehrkraft und den Mitschülerinnen und Mitschülern

Bewertung: Diskutieren und Bewerten der Brauchbarkeit von Fachsprachentraining und Rollenspiel zum Erlernen chemischer Mechanismen

Der Beitrag enthält Materialien für

- ✓ offene Unterrichtsformen
- ✓ Schülerpräsentation und Diskussion
- ✓ Lernen an Modellen
- ✓ Rollenspiele

II/C

Hinweise zur Didaktik und Methodik

Die **nukleophile Substitution (S_N)** ist obligatorischer Bestandteil der Lehrpläne im Leistungskurs der Jahrgangsstufe 12 für das landesweite Zentralabitur in Hessen.

In der Regel ist für die Lernenden diese Reaktion auf der Ebene der Reaktionsgleichung schnell nachvollziehbar. Man steigt in dieses Thema daher am besten mit einem Schülerversuch (Heinrichs und Höner, 2012) oder einem Videoclip (Keusch, 2003) ein. Eine Reaktionsgleichung aufzustellen und zu erkennen, dass eine nukleophile Abgangsgruppe im Edukt durch ein anderes nukleophiles Teilchen ersetzt wurde, gelingt nämlich meistens problemlos. Die nukleophile Substitution wird am besten im Rahmen der Herstellung von Alkoholen aus Halogenalkanen im Unterricht thematisiert, beispielsweise als alternative Möglichkeit zur alkoholischen Gärung, die man ebenfalls in Schülerversuchen vorher behandelt hat. Mit dem Fachbegriff *nukleophile Substitution* können die Lernenden häufig etwas verbinden, denn es existieren Vorkenntnisse, da Fachbegriffe wie *Substitution*, *elektrophil* und *nukleophil* in der Regel bereits definiert und zum Teil angewendet wurden.

Schwieriger wird es immer, wenn Lernende eine Reaktion auf der mechanistischen Ebene nachvollziehen und erklären sollen. Bei der nukleophilen Substitution sind die Schwierigkeiten besonders augenscheinlich, da in Abhängigkeit von Molekülstruktur und Reaktionsbedingungen der **Mechanismus auf zwei verschiedenen Wegen** – über ein **Carbenium-Ion (S_N1)** oder über die **Ausbildung eines Übergangszustandes (S_N2)** – zwischen Halogenalkan und nukleophilem Teilchen erfolgt (**M 1a**). Daher ist besonders hier die Verwendung und das **Einüben von Fachbegriffen (M 1a–d)** zur Erklärung und Beschreibung komplexer chemischer Zusammenhänge sehr wichtig (**Fachsprachentraining**). Ohne ein Angebot fachlicher Begriffe fällt

es den Schülerinnen und Schülern extrem schwer, einen chemischen Vorgang auf der Teilchenebene anzusprechen. Es fehlen ihnen gewissermaßen die Worte. Das Verwenden von Fachbegriffen und deren sprachliche Einbindung in einen Text sind eine gute und nachhaltige Möglichkeit, komplexe chemische Inhalte durch Formulierung und Zuordnung zu chemischen Molekülstrukturen einzuüben. Neben der Formulierung eines Textes (**M 1c**) werden vorgegebene Molekülstrukturen in die richtige chemische Ordnung der Reaktionsabfolge gebracht (**M 1b**). Durch Verquickung dieses Lernangebotes kann dann ein solcher Mechanismus in Gruppenarbeit selbstständig von den Lernenden erarbeitet werden. Der Mechanismus wird dann im Anschluss z. B. mithilfe der von der Lehrkraft vorbereiteten Folienschnipsel (**M 1b**) und dem erstellten Fachtext der Lerngruppe vorgestellt. Ergänzungen und Korrekturen seitens der Lerngruppe komplettieren das Bild des Reaktionsmechanismus. Die Vorgabe der Fachbegriffe kann je nach Lern- und Leistungsstand der Lerngruppe angepasst werden. Im angebotenen Vorschlag sind relativ viele Fachbegriffe und Textbausteine vorgegeben worden.

Ob allerdings das **Fachsprachentraining** alleine dazu führt, dass ein chemischer Mechanismus von den Lernenden in allen Einzelheiten verstanden wird, bleibt – von den leistungsstarken Schülerinnen und Schülern abgesehen – zu bezweifeln. Szenisches Lernen ist als effiziente Lernmethode anerkannt (z. B. Wellscher Forche, 1999) und kann durch **Einbindung von Körperbewegung, Sprechen, Hören und Wahrnehmung** der eigenen Aktion und der Handlungen der Mitschülerinnen und Mitschüler den Verstehensprozess insbesondere bei komplexen Sachverhalten effektiv und nachhaltig mit allen Sinnen unterstützen und verbessern. Darüber hinaus erhalten die Lernenden durch szenisches Lernen Selbstsicherheit und Selbstbewusstsein, wenn sie es wagen, vor anderen zu spielen. Sie erweitern ihre Wahrnehmungsfähigkeit und ihre kommunikative Kompetenz, wenn sie im gemeinsamen Spiel in „fremde“ Rollen schlüpfen.

Spielorientierte Unterrichtselemente, wie die **Methode des szenischen Lernens (M 3b–c)**, werden im Chemieunterricht allerdings bislang noch zu selten eingesetzt (z. B. Pöpping, 2003; Heinrichs und Höner, 2012). Das szenische Lernen stellt hohe Anforderungen an die beteiligten Schülerinnen und Schüler. Die verschiedenen Zwischenstadien sowie die Steuerung der verschiedenen Reaktionswege durch Molekülstruktur und Reaktionsbedingungen erfordern von allen Spielern einen Gesamtüberblick über die entsprechenden chemischen Zusammenhänge und während des darstellenden Spiels eine hohe Flexibilität. Vorerfahrungen im darstellenden Spiel sind hilfreich, eine inhaltliche Vorbereitung durch Fachsprachentraining ist eine wichtige Voraussetzung.

Der rationale Naturwissenschaftszugang ausschließlich mit einer abstrakten Wissenschaftssprache schafft vermutlich keinen affektiven Bezug zum naturwissenschaftlichen Phänomen und den Erklärungen und wird den Lernenden daher auch wenig erhellende und einprägsame Deutungen zum Mechanismus liefern. Deshalb bieten sich für die Schülerinnen und Schüler sog. **animistische Erklärungen** an, um naturwissenschaftliche Zusammenhänge anschaulich zu machen. In diesem Beitrag soll darunter die Personifikation der chemisch miteinander reagierenden Teilchen, die Übertragung menschlichen Aussehens, menschlicher Eigenschaften und Verhaltensweisen und sogar Namen auf Teilchenstrukturen chemischer Mechanismen verstanden werden; es ist damit ein bewusst eingesetztes didaktisches Mittel. Auf bildlicher Ebene kommen z. B. besonders in Szene gesetzte Atome oder Ionen (dargestellt von einzelnen Schülerinnen und Schülern) vor, die damit zum Ausdruck bringen, dass sie im Zentrum des Geschehens stehen. So kann z. B. ein Lernender ein dickbäuchiges Carbenium-Ion darstellen, welches breitbeinig auf zwei Beinen (zwei Alkylgruppen symbolisierend) steht und damit impliziert, dass dieses Ion von zentraler Bedeutung ist. Da es stabil ist, fällt es nicht um. Das Carbenium-Ion kann sich z. B. einen entsprechend beschrifteten Karton über den Oberkörper stützen. Die dritte Alkylgruppe (tertiäres Carbenium-Ion) kann durch Tragen eines Hutes ebenfalls mit entsprechender Beschriftung kenntlich gemacht werden (**siehe M 3c**).

Wenn die nukleophile Abgangsgruppe an ein primäres C-Atom gebunden ist, kann

sich kein primäres Carbenium-Ion stabilisieren und die Substitution erfolgt über einen sog. Übergangszustand. Das zentrale, primäre C-Atom der Verbindung kann sich also nicht als Ion stabilisieren. Der Lernende trägt ebenfalls einen Hut (Alkylgruppe), steht aber jetzt nur auf einem Bein, das andere Bein ist abgewinkelt (die beiden Beine symbolisieren jetzt H-Atome) und kann daher leicht umfallen. In diesem hypothetischen Übergangszustand sind zwar wie beim Carbenium-Ion drei Bindungspartner vorhanden, d. h., räumlich gesehen ist dieser Zustand ebenfalls planar mit einem Bindungswinkel der Bindungspartner von 120° zueinander, aber der Zustand ist nicht stabil. Während sich in diesem Übergangszustand die nukleophile Abgangsgruppe noch nicht vollends gelöst hat, hat sich auch noch keine neue Bindung zwischen dem angreifenden Nukleophil und dem primären C-Atom ausgebildet. Zur Unterstreichung, dass die chemischen Bindungen noch nicht fertig ausgebildet sind, können beispielsweise Papierketten als Verbindungsglieder zu den benachbarten Mitschülerinnen und Mitschülern verwendet werden. Das angreifende Nukleophil (OH⁻-Ion) und die Abgangsgruppe (Iodid-Ion) (**siehe M 3c**) werden jeweils durch einen Mitschüler dargestellt. Das angreifende Nukleophil drängt von der gegenüberliegenden Seite her die Abgangsgruppe heraus (Loslassen der Papierkette zur Abgangsgruppe) und bildet dabei zum primären C-Atom eine neue Bindung aus (Ersatz der Papierkette zum Nukleophil durch gegenseitiges Ergreifen der Arme zwischen Nukleophil und primärem C-Atom).

Auf sprachlicher Ebene finden sich Redewendungen wie „Ich bin die Sabine und stelle das zentrale C-Atom im Übergangszustand dar. Ich bin mit meinem Freund Jonas (Iodid-Anion) zusammen, aber den Niklas (angreifendes Nukleophil OH⁻) finde ich auch sehr cool“ (**M 3c**). Dabei werden zwischen den einzelnen Darstellern auf sozialer Ebene Beziehungen hergestellt, denn zur Ausbildung von Atombindungen streckt das Nukleophil (Niklas) seinen Arm in Richtung zentrales C-Atom (Sabine) aus und gleichzeitig wird die alte Atombindung zum noch gebundenen Nukleophil (Jonas) gelöst.

Durch die szenische Darstellung werden also **Bilder von Teilchen** geschaffen, die sich in ihrer Einmaligkeit den Schülerinnen und Schülern einprägen, insbesondere dann, wenn sie selbst daran aktiv mitwirken. Die Lernenden schlüpfen in die Rolle der einzelnen Molekülgruppen und Ionenspezies, die in einem dynamischen Prozess verschiedene Zwischenstadien durchlaufen und in Abhängigkeit verschiedener Bedingungen unterschiedliche Reaktionswege einschlagen. Insbesondere, wenn die Schülerinnen und Schüler bereits Übung im darstellenden Spiel haben, führt die Aufforderung, selber Szenen zu entwickeln, zu einer gedanklichen Auseinandersetzung mit dem Sachverhalt und bietet damit die Möglichkeit, das Besondere eines abstrakten Vorganges und deren steuernde Bedingungen „subjektiv“ durch Einbindung des eigenen Körpers erfahrbar zu machen. Selbst ein zunächst als Kleinigkeit interpretierter Sachverhalt (z. B. eine Teilladung im Mechanismus) kann durch das szenische Spiel auffallen, erhält u. U. damit für die Lernenden erst jetzt seine wahre Bedeutung und kann dann sogar szenisch durch Gestik und Mimik, aber auch durch den Einsatz besonderer Requisiten und durch Sprache hervorgehoben werden. Indem die Schülerinnen und Schüler sich in den Rollen und Szenen fühlend, denkend und handelnd wiedererkennen, wird der Lernende also letztlich zum Beobachter seiner eigenen Wahrnehmung, damit zum Überprüfer des Sachverhaltes und zum Erzeuger von Bildern, die über die Körperbewegungen inklusive Mimik und Gestik und die zum Ausdruck kommenden Gefühle der Spieler nicht nur eine **Veranschaulichung von Sachverhalten** bewirken, sondern auch eine persönliche Anteilnahme beim Zuschauer vermitteln. Selbst nach Jahren bleiben auf diese Weise einzelne szenische Bilder in der Erinnerung lebendig, was letztlich Ausdruck für die enorme Intensität, die derartige Bilder in unserem Gehirn erzeugen, ist.

Ergänzend zum kognitiven Lernen soll beim szenischen Lernen der **Spaß am Lernen** im Vordergrund stehen. Tatsächlich empfinden die meisten Lerngruppen diese Methode als sehr positiv und berichten über Spaß und Freude beim Lernen, denn **das spielerische Erleben** wird zur Grundlage des Unterrichtes. Es ist schon lange bekannt, dass der Lernprozess gerade durch positive Gefühle befördert wird. Ebenso ist das **Lernen mithilfe von Geschichten** motivierend, denn die Kopplung von

II/C

Fachsprache mit Alltagssprache hilft, die fachchemischen Termini zu „übersetzen“ und damit den Stoff effektiver zu vermitteln. Das Erzählen regt die Fantasie an und ordnet vage Ideen und Vorstellungen.

Daher geschieht die gesamte spielerische Umsetzung der chemischen Zusammenhänge durch die Lernenden selbst, indem sie bestimmte Rollen als Darsteller übernehmen (**M 3b**). Es muss außerdem ein Regisseur gewählt werden, der den gesamten Prozess der Darstellung leitet. Der Regisseur sollte von zwei bis drei Assistenten, die als Beobachter und Berater agieren, unterstützt werden. Die Darstellung des Mechanismus soll im Rahmen animistischer Erklärungen in eine Alltagsgeschichte eingebunden werden, indem die abstrakten chemischen Vorgänge wie *Polarisierung*, *nukleophiler Angriff*, *Bindungslösung* etc. auf eine emotionale Ebene gehoben werden und mit grundlegenden menschlichen Gefühlen wie Freude, Glück, Trauer, Freundschaft, Konkurrenz, Eifersucht, Ärger, Angst etc. in Verbindung gebracht werden. Damit wird also auch ein Erzähler benötigt. Szenisches Spiel sollte aber auch lebendig sein. Daher können auch die einzelnen Teilchen miteinander reden und damit noch aktiver in den Handlungsablauf eingebunden werden. Parallel zur Handlung sollten die einzelnen Schritte nacheinander durch eine/-n kompetente/-n Schüler/-in (den Chemiker) mithilfe von Fachsprache kommentiert werden.

Eine abschließende Reflexion ist für alle szenischen Darstellungen wichtig, um deren Relevanz in Bezug zum Gesamtzusammenhang zu überprüfen. Es sollte hier noch einmal abschließend (insbesondere unter Verwendung der Fachsprache) eine Zuordnung der einzelnen Spielszenen zu den verschiedenen Zwischenstadien und den verschiedenen Reaktionsbedingungen im dynamischen Prozess der chemischen Reaktion erfolgen. Die **Kopplung von komplexen chemischen Inhalten (Fachsprache) einerseits und szenischem Darstellen und Erleben (Theaterpädagogik) andererseits** kann zum Abschluss des Lernprozesses z. B. abschnittsweise auf einem Video (Kosegarten, 2013) festgehalten werden und als Medium zur **Ergebnissicherung** eingesetzt werden. Entsprechende Übungsaufgaben zur Vorbereitung auf das Zentralabitur können dann gruppenweise im Anschluss bearbeitet (**M 4 a-b**).

Durchführung

Es handelt sich bei dem folgenden Beitrag um **keine Unterrichtseinheit**. Man findet hier Materialien zum Erlernen eines chemischen Mechanismus mithilfe **unterschiedlicher Lernmethoden**. Man kann das Angebot komplett **von M 1 bis M 4** nacheinander im Unterricht einsetzen, denn die Inhalte sind logisch aufeinander aufgebaut. Man kann aber auch genauso gut nur Teile der Materialien nutzen und damit auf eine Verquickung unterschiedlicher Lernmethoden verzichten. Das szenische Lernen (**M 3b und M 3c**) ist nach meinen Erfahrungen sehr belebend für den Chemieunterricht und wird in der Regel gerne von den Lerngruppen angenommen. Man sollte diese Lernmethode allerdings nicht jedes Mal einsetzen, wenn es darum geht, einen chemischen Mechanismus zu erlernen. Die **Abwechslung der eingesetzten Lernmethoden** ist von zentraler Bedeutung für einen motivierenden Unterricht. Man darf auch nicht davon ausgehen, dass das darstellende Spiel immer von allen Schülergruppen gerne angenommen wird. In der Regel macht es den Schülerinnen und Schülern dieses Alters aber sehr viel Spaß, auf kreative Weise durch Theater und Erleben neue Erkenntnisse zu gewinnen und zu verinnerlichen. Die Vorschaltung des Fachsprachentrainings (**M 1a-d**) vor dem darstellenden Spiel (**M 3b-c**) ist wichtig, denn nur so kann im Rahmen des szenischen Lernens eine Kopplung mit der Fachsprache stattfinden. Ein zusätzliches Glossar (**M 1d**) gewährt den Lernenden eine rasche Hilfestellung, alte Fachbegriffe aufzufrischen. Erst die Verquickung von szenischem Lernen inklusive Alltagsgeschichte mit dem Fachsprachentraining hilft, mit allen Sinnen den in der Regel für die Lernenden sehr abstrakten Stoff zu erfahren und damit zu verstehen, also den komplexen chemischen Vorgang mithilfe von Bildern und Alltagssprache zu veranschaulichen. Die Aufgaben für das Zentralabitur (**M 4a**) können jederzeit separat eingesetzt werden und dienen auch als Material für das darstellende Spiel (**M 3b-c**). Die Materialien **M 2a-c** zur räumlichen Isomerie sind als fakultativ zu betrachten. Entsprechende Übungsaufgaben (**M 4a**) mit diesem Inhalt sind bei Nichtdurchführung von **M 2** dann zu streichen. Das Info-Blatt **M 3a** ist Grundlage

sowohl für das darstellende Spiel (**M 3b–c**) als auch für die Bearbeitung der Aufgaben im Zentralabitur (**M 4a**). Ein weiteres Info-Blatt (**M 4b**) dient als zusätzliche Hilfe bei der Bearbeitung von zentralen Abituraufgaben, in denen die unterschiedliche Nukleophilie innerhalb der Halogenreihe durch Eigenschaften wie Basizität und Polarisierbarkeit erweitert wird. Die szenische Darstellung dieses letzteren, sehr komplexen und abstrakten Vorganges könnte ebenfalls einen erleichterten Zugang verschaffen.

Weiterführende Hinweise zum szenischen Spiel

In diesem Beitrag wurde das szenische Lernen am Beispiel des Nachspielens der nukleophilen Substitution beschrieben. Szenisches Lernen sollte in der Chemie vermehrt eingesetzt werden, wenn es darum geht, Phänomene auf Teilchenebene zu erklären und dies schnell für die Lernenden abstrakt wird. Ein anderes Beispiel aus der Sekundarstufe II ist das szenische Spiel des Mechanismus der elektrophilen Addition durch Schülerinnen und Schüler eines Grundkurses (Kosegarten, 2013). Die Darstellung des unterschiedlichen Aggregatzustandes bei Schmelz- und Siedevorgängen, der gewinkelte Bau des Wassermoleküls zur Erklärung eines Dipolmoleküls, der Lösungsvorgang eines Salzkristalls, die chemische Reaktion zwischen Herrn Natrium und Frau Chlor bei der Einführung des Schalenmodells, die Neutralisation von Herrn Hydroxonium mit Frau Hydroxyl bei der Einführung von Säure-Base-Reaktionen sind nur einige Beispiele der zahlreichen Möglichkeiten aus dem Lehrplanangebot der Sekundarstufe I. In den anderen Naturwissenschaften, wie z. B. der Physik (Kramer, 2011), findet diese Methode neuerdings ebenfalls Eingang.

II/C

Literatur und Internet

Heinrichs, J. und Höner, K. In der Sekundarstufe II kooperativ lernen – organische Chemie im Rollenspiel, Brainstorming, Fishbowl und Memory, Raabits Chemie 38, Februar 2012.

Dieser Beitrag beschreibt die Anwendung verschiedener Lernmethoden an konkreten Lerninhalten der organischen Chemie in der Sekundarstufe II.

Kramer, M. Physik als Abenteuer, Band I, Aulis Verlag, Halbergmoos (2011).

Kosegarten, H. „Wir sind die coole Ethenclique“, Der Mechanismus der elektrophilen Addition, GK Chemie Jahrgangsstufe 12, Ricarda-Huch-Schule, Gießen (2013).
http://kultur.bildung.hessen.de/kulturelle_praxis/kultschu/unterrichtsprojekte/index.html

Das Video zeigt das szenische Erlernen eines chemischen Mechanismus am Beispiel der elektrophilen Addition.

Pöpping, W. Lineare und vernetzte Kunststoffe bilden. Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie, 73, S. 39–40 (2003).

Am Beispiel der radikalischen Polymerisation werden Kunststoffe im Rahmen eines Rollenspiels linear und vernetzt dargestellt.

Welscher-Forsche, U. Lernen fördern mit Elementen des szenischen Spiels. Schneider Verlag Hohengehren (1999.).

Bezugsquellen

Molekülbaukasten: Schülerbaukasten Molymod.

Bezug: Fa. Hedinger, Tel.: 0711 40 20 50, www.der-hedinger.de

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch AB = Arbeitsblatt mit Aufgaben
 ⌚ D = Durchführungszeit LV = Lehrerversuch FO = Folie FoVo = Folienvorlage

M 1a	Ab	Nukleophile Substitution (S_N) – zwei Reaktionswege
	⌚ V: 5 min	
	⌚ D: 85 min	
M 1b	Ab/FoVo	Strukturformeln – Vorlage zum Ausschneiden
M 1c	Ab	Formulierungshilfen
M 1d	Info	Glossar
M 2a	Info	Die Walden-Umkehr bei S_N-Reaktionen
M 2b	Info	Exkurs: Wussten Sie schon? Chirale Moleküle: kleine Unterschiede, große Wirkung
M 2c	Ab	Wir bauen, zeichnen und benennen räumliche Isomere
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> Modellbaukästen
	⌚ D: 85 min	
M 3a	Info	Lenkung der beiden Reaktionswege
M 3b	Ab	„Ich bin das Carbenium-Ion, und du?“ – Nukleophile Substitution im darstellenden Spiel
M 3c	Fo	Szenen aus dem Klassenzimmer
	⌚ V: 15-45 min	<input type="checkbox"/> stabiler Karton <input type="checkbox"/> Stifte, Schere
	⌚ D: 30-135 min	<input type="checkbox"/> verschiedene Schülermaterialien <input type="checkbox"/> Requisiten
M 4a	Ab	Übungen zur Vorbereitung auf das Zentralabitur
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> Modellbaukästen
	⌚ D: 85 min	
M 4b	Info	Infos zur nukleophilen Stärke: Basizität und Polarisierbarkeit der nukleophilen Teilchen

Die Erläuterungen und Lösungen finden Sie ab Seite 20.

I/C

SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

SN1 oder SN2? - Fachsprachentraining und szenisches Lernen

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

