

## Komplexe organische Stoffklassen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Die Thematik „Drogen im Chemieunterricht“ spielt in der fachdidaktischen Landschaft bereits seit langem eine wichtige Rolle. Auch zu der Stoffklasse der Amphetamine finden sich zahlreiche Beiträge in fachdidaktischen Zeitschriften (Kovar, Rösch, Rupp & Hermle 1990; Flintjer 1996; Wenzl 1997a; Wenzl 1997b; Wagner, 2000). Dabei werden jedoch keine methodischen Umsetzungsmöglichkeiten bezüglich der Substanzklasse der Amphetamine für den Chemieunterricht dargeboten. Auch die Lehrpläne liefern keine Tiefenstruktur bezüglich organischer Drogen-Substanzklassen.

Im Folgenden wird eine curriculare Entwicklungsarbeit für die Sekundarstufe II vorgestellt, die diese Aspekte berücksichtigt. Das entwickelte Lernset wurde in Chemielehrerfortbildungen und universitären Lehrveranstaltungen mehrfach erprobt und evaluiert.

### Die Stoffklasse der Amphetamine

Der Markt für Amphetamine expandiert weltweit seit mehreren Jahren (UNODC 2017). Auch in Deutschland sind die synthetischen Drogen weiterhin auf dem Vormarsch und ein Anstieg der sichergestellten Menge von Methamphetamin, Amphetamin und Ecstasy (mit dem Wirkstoff 3,4-Methylendioxy-*N*-methylamphetamin, kurz: MDMA) sind zu verzeichnen (Die Drogenbeauftragte der Bundesregierung 2016-2018; BKA 2018).

Deutschland ist in erheblichem Maße an der Entwicklung der Drogen beteiligt gewesen. Amphetamin wurde das erste Mal im Jahr 1887 durch Lazar Edeleanu in Deutschland synthetisiert und nahm in den USA in Form des „Benzedrin-Inhalators“ (DL-Amphetamin) erheblichen Einfluss im medizinischen Bereich (Iversen 2009). Im Jahre 1912 entdeckte das deutsche Pharmaunternehmen Merck die Substanz MDMA (Trachsel, Lehmann & Enzensperger 2013). Die deutschen Temmler-Werke stellten das bereits bekannte Methamphetamin großtechnisch her und vermarkteten es als „Pervitin“ in Form der „Panzerschokolade“ an Luftwaffe, Marine und Bodentruppen während des Zweiten Weltkriegs. Als Volksdroge und Allheilmittel wurde es zur Behandlung von Adipositas, Erkältungssymptomen, psychischen Erkrankungen u. v. m. verabreicht (Ohler 2015).

Die drei Substanzen interagieren mit dem Zentralnervensystem und rufen dort eine Ausschüttung von Neurotransmittern hervor. Der Konsum der Weckamine Amphetamin und Methamphetamin bewirkt eine Ausschüttung von Dopamin und Noradrenalin und hemmt die Wiederaufnahme der Neurotransmitter in die Präsynapse. Der Konsum von MDMA als Entaktogen und Empathogen bewirkt eine zusätzliche Freisetzung des Neurotransmitters Serotonin und hemmt ebenfalls die Wiederaufnahme aller drei Botenstoffe in die präsynaptische Zelle (Geschwinde 2007; Iversen 2009).

Hinsichtlich der Herstellungsmöglichkeiten existieren seit Beginn des 20. Jahrhunderts zahlreiche Ansätze. Die durch Totalsynthesen erzeugten Substanzen Amphetamin und Metamphetamine können infolge bekannter organischer Namensreaktionen sowie verschiedenartiger Reduktionen produziert werden (Allen & Cantrell 1989). Eine geläufige Variante der racemischen Synthese von Amphetamin erfolgt über eine Henry-Reaktion (Nitroaldol-Reaktion). Ausgehend von Benzaldehyd und Nitroethan wird zunächst ein Nitroalken erzeugt, welches anschließend mittels elektrolytischer Reduktionsreaktion an einer Quecksilber-Kathode das

Amphetamin liefert. Die Reduktion kann ebenfalls über eine Hydrierung mit Wasserstoff und Nickel erfolgen (Gray 2007). Ein Syntheseweg, der zum racemischen Methamphetamin mittels reduktiver Aminierung führt, geht von 1-Phenylpropan-2-on aus. Durch die Umsetzung mit Methylamin in Anwesenheit von Ameisensäure bildet sich zunächst das *N*-Methyl-1-phenylpropan-2-imin, das im Anschluss reduziert wird (Allen & Cantrell 1989; Harnisch & Salthammer 2013). MDMA lässt sich beispielsweise über einen zweistufigen Syntheseweg aus dem Naturstoff Safrol herstellen. Safrol wird durch Bromwasserstoffsäure zu Monobromdihydrosafrol umgewandelt und führt im Anschluss durch Behandlung mit einer alkoholischen Methylamin-Lösung zu MDMA (Shulgin 1986; Weigle 1992; Shulgin & Shulgin 1995; Trachsel & Richard 2000).

Für die Substanzklasse der Amphetamine stehen Schnelltest-Verfahren in Form von kleinen Glasampullen der ESA-TEST GmbH Eisenach zur Verfügung, mit denen innerhalb weniger Sekunden bis Minuten eine sichere Substanzidentifizierung gewährleistet werden kann. Die Schnelltests basieren auf bekannten Reaktionen der organischen Chemie, bei denen unterschiedliche Verbindungen mittels gruppenspezifischer Farbreaktionen unterschieden werden können (Rothweil & Bader 2004).

Speziell für Amphetamine können das Marquis-Reagenz und das Simon's Reagenz eingesetzt werden (U.S. Department of Justice 2000).

Bei der Umsetzung der Amphetamine mit dem Marquis-Reagenz, das aus konzentrierter Schwefelsäure und 40%iger Formaldehyd-Lösung besteht, ist das entstehende Carbenium-Ion die Ursache für die Farbe aufgrund des neugebildeten konjugierten Systems. Folgender Mechanismus läuft ab (Kovar & Laudsun 1989):

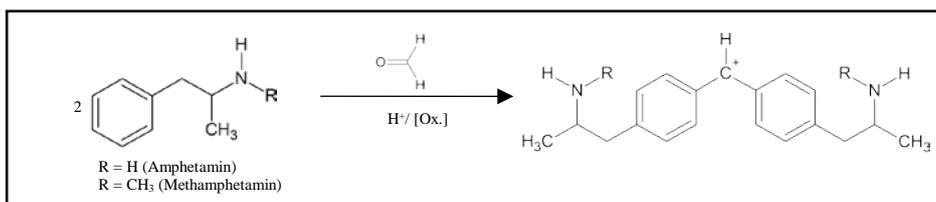


Abb. 1: Marquis-Reaktion

Während Amphetamin und Methamphetamin ein orange-rote bis rot-braune Farbreaktion infolge der Marquis-Reaktion erzeugen, entsteht bei MDMA ein dunkelvioletter bis schwarzer Farbumschlag (Johns, Wist & Najam 1979; United Nations 1994).

Um die sekundären Amine Methamphetamin und 3,4-Methylendioxy-*N*-methylamphetamin vom primären Amphetamin unterscheiden zu können, wird das Simon's Reagenz eingesetzt. In Anwesenheit eines sekundärenamins kann eine blaue Farbreaktion infolge der Bildung des Simon-Awe-Komplexes beobachtet werden. Primäre Amine erzeugen einen rosa bis violetten Farbumschlag (Wiegrebe & Vilbig 1981; Kovar & Laudsun 1989; O'Neal, Crouch & Fatah 2000; Widdop 2011; Philp & Fu 2018).

### Die Konstruktionsarbeit im Überblick

Im Rahmen der curricularen Konstruktionsarbeit wurden elf Stationen entwickelt, die die Stoffklasse der Amphetamine anhand bestimmter Kriterien mehrperspektivisch vermitteln. Sowohl fachlich relevante Inhalte wie Strukturen, geschichtliche Aspekte, die Wirkungen der Drogen, Organische Synthesereaktionen und organische Nachweisreaktionen sowie Reaktionsmechanismen werden thematisiert. Die Stationen sind theoriegeleitet, modellhaft, experimentell, digital, fächerübergreifend und praxisnah aufbereitet.

Tabelle 1: Ein Überblick über die Stationen des Lernsets

Stationen	Methodische Umsetzung
(1) Strukturen der Amphetamine	Molekülbaukasten
(2) Auf den Spuren der Amphetamine	spielerischer Zugang, fächerübergreifend
(3) Die Synthese von Phenethylamin und Amphetamin	theoriegeleitet
(4) Die Wirkungen von MDMA auf das ZNS	Kurzvideo
(5) Der Nachweis von Drogen mithilfe des Marquis-Reagenz	Experiment, praxisnah
(6) Der Nachweis von primären und sekundären Aminen	Experiment, digital
(7) Drogenhaltige Medikamente?!	LDE, fächerübergreifend
(8) Drogen-Quartett	Kartenspiel
(9) Nachweisbarkeit von LSD mit dem Ehrlich-Reagenz	Experiment
(10) Carbenium-Ionen als reaktive Zwischenstufen	Experiment
(11) Lautlose Tropfen	Erklärvideos, digital

Insbesondere die Nachweisreaktionen für die Amphetamine bieten dabei eine gute Möglichkeit, Reaktionsmechanismen im Oberstufenunterricht zu vertiefen. So können Carbenium-Ionen als Schlüsselstrukturen für prozessorientierte Betrachtungen organisch-chemischer Reaktionen verstanden werden, mit denen Schülerinnen und Schülern durch visuelle Farbeffekte die submikroskopische Ebene zugänglich gemacht wird (Schmitt, Wißner & Schween 2013; Graulich & Schween 2017). Im Rahmen der schulischen Gesundheitserziehung werden konkrete Inhalte bezüglich der Drogen (Stoffkenntnis, Vorkommen, Wirkungen) zusätzlich thematisiert (Drechsler-Köhler & Salzner 2007).

### Erste Ergebnisse

Die Konstruktionsarbeit konnte bereits in zwei Lehrerfortbildungen und mehreren universitären Lehrveranstaltungen ( $N_{\text{Ges}} = 44$ ) pilotiert werden.

- Die Einschätzung der Lehrkräfte bezüglich charakteristischer Merkmale erwies sich als sehr hoch. Auf einer Likert-Skala von 1 bis 5 (1 = trifft gar nicht zu; 5 = trifft voll zu) konnten ausgeprägte Charakteristika hinsichtlich des chemischen Fachbezugs ( $M = 4,61$ ), des Fachwissens im Bereich Organische Chemie ( $M = 4,57$ ), experimenteller Zugänge ( $M = 4,25$ ) und der Gesundheitserziehung ( $M = 4,18$ ) verzeichnet werden.
- Die Passfähigkeit der Inhalte der Konstruktionsarbeit wurde für die Klassenstufen 11/ 12 (Likert Skala 1 bis 4 (1 = stimmt nicht; 4 = stimmt genau) mit  $M = 3,40$  ( $N = 44$ ) bestätigt. Das Potential eines fächerübergreifenden Unterrichtseinsatzes wurde mit  $M = 3,31$  als positiv eingeschätzt.
- Nahezu alle Lehrkräfte gaben an, dass sich die Thematik für Lehrerfortbildungen eignet (Likert-Skala 1 bis 4 (1 = stimmt nicht; 4 = stimmt genau) mit  $M = 3,75$ ). Die meisten neu erlernten Informationen seitens der Lehrkräfte konnten im Bereich der Nachweismöglichkeiten ( $M = 3,73$ ) konstatiert werden. Allerdings würde nur die gute Hälfte ( $M = 2,89$ ) das Lernset im eigenen schulischen Unterricht realisieren.
- Freie Äußerungen stellen die Vielfalt methodischer Zugänge, die didaktische Aufbereitung sowie den hohen Praxisbezug positiv heraus. Kritisch wird insbesondere der fehlende Lehrplanbezug, damit einhergehend das Zeitmanagement und der Umgang mit besonderen Chemikalien betrachtet.

Als zukünftiges Ziel gilt es, die Thematik an Schülerinnen und Schüler der Oberstufe heranzutragen. Die Vernetzung von Fachwissenschaft und Fachdidaktik, das Einbinden des Expertenwissens von Lehrkräften sowie das Einbetten der Arbeit in die universitäre Lehre sind dabei wichtige Bausteine für die Weiterentwicklung und Optimierung des Materials.

**Literatur**

- Allen, A., & Cantrell, T.S. (1989). Synthetic Reductions in Clandestine Amphetamine and Methamphetamine laboratories: A Review. *Forensic Science International*, 42, 183-199
- Bundeskriminalamt (BKA) (2018). Rauschgiftkriminalität: Bundeslagebild 2017. Wiesbaden
- Die Drogenbeauftragte der Bundesregierung (2016). Drogen- und Suchtbericht: Juni 2016. Berlin
- Die Drogenbeauftragte der Bundesregierung (2017). Drogen- und Suchtbericht: Juli 2017. Berlin
- Die Drogenbeauftragte der Bundesregierung (2018). Drogen- und Suchtbericht: Oktober 2018. Berlin
- Drechsler-Köhler, B., & Salzner, J. (2007). Gesundheitserziehung: Ein Thema in Schule und Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 18 (102), 4-9
- Flintjier, B. (1996). Designer-Drogen: Analytische und toxikologische Aspekte. *Chemie konkret*, 3 (3), 144-154
- Geschwinde, T. (2007). Rauschdrogen: Marktformen und Wirkungsweisen. Berlin [u.a.]: Springer
- Graulich, N., & Schween, D. (2017). Carbenium-Ionen - Schlüsselstrukturen für prozessorientierte Betrachtungen organisch-chemischer Reaktionen. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 66 (1), 24-28
- Gray, D.L. (2007). Approved treatments for attention deficit hyperactivity disorder: amphetamine (Adderall®), methylphenidate (Ritalin®), and atomoxetine (Strattera®). In D.S. Johnson & J.J. Li (Eds.), *The art of drug synthesis*. Hoboken [u.a.]: Wiley, 241-259
- Harnisch, F., & Salthammer, T. (2013). Ein Chemiker als Serienprotagonist: Die Chemie bei Breaking Bad. *Chemie in unserer Zeit*, 47 (4), 214-221
- Iversen, L. (2009). *Speed, Ecstasy, Ritalin: Amphetamine - Theorie und Praxis*. Bern: Huber
- Johns, S.H., Wist, A.A., & Najam, A.R. (1979). Spot Tests: A Color Chart Reference for Forensic Chemists. *Journal of Forensic Sciences*, 24 (3), 631-649
- Kovar, K.-A., & Laudzun, M. (1989). Chemistry and Reaction Mechanism of Rapid Tests for Drugs of Abuse and Precursors Chemicals. In United Nations (Eds.), *Scientific and Technical Notes*. Tübingen, 1-19
- Kovar, K.-A., Rösch, C., Rupp, A., & Hermle, L. (1990). Synthetische Suchstoffe der 2. Generation (sog. Designer Drugs). *Pharmazie in unserer Zeit*, 19 (3), 99-107
- Ohler, N. (2015). *Der totale Rausch: Drogen im Dritten Reich*. Köln: Kiepenheuer & Witsch
- O'Neal, C.L., Crouch, D.J., & Fatah, A.A. (2000). Validation of twelve chemical spot tests for the detection of drugs of abuse. *Forensic Science International*, 109, 189-201
- Philp, M., & Fu, S. (2018). A review of chemical 'spot' tests: A presumptive illicit drug identification technique. *Drug Testing and Analysis*, 10, 95-108, <https://doi.org/10.1002/dta.2300>
- Rothweil, M., & Bader, H.J. (2004). Drogenanalytik: Schnelltests zur Analyse „klassischer“ Rauschgifte. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 53 (5), 23-26
- Schmitt, C., Wißner, O., & Schween, M. (2013). Carbenium-Ionen als reaktive Zwischenstufen: (Experimenteller) Zugang zu einem tiefergehenden Verständnis organischer Reaktionen. *Chemie konkret*, 20 (2), 59-65
- Shulgin, A.T. (1986). The Background and Chemistry of MDMA. *Journal of Psychoactive Drugs*, 18 (4), 291-304
- Shulgin, A. T., & Shulgin, A. (1995). *PiHKAL - A Chemical Love Story*. Berkeley: Transform Press
- Trachsel, D., & Richard, N. (2000). *Psychedelische Chemie*. Solothurn: Nachtschatten
- Trachsel, D., Lehmann, D., & Enzensperger, C. (2013). *Phenethylamine: Von der Struktur zur Funktion*. Solothurn: Nachtschatten
- United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) (2017). *World Drug Report: Market Analysis of Synthetic Drugs: Amphetamine-type stimulants, new psychoactive substances*. Vienna
- United Nations International Drug Control Programme (UNODC) (1994). *Rapid Testing Methods of Drugs of Abuse: Manual for Use by National Law Enforcement and Narcotics Laboratory Personnel*. Vienna
- U.S. Department of Justice (2000). *Color Test Reagents/Kits for Preliminary Identification of Drugs of Abuse*. Washington DC
- Wagner, G. (2000). Chemie im Kopf - Das Thema illegale Drogen im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 11 (60), 4-10
- Weigle, C. (1992). Allgemeine Bemerkungen zur Chemie und Pharmakologie von MDMA. In C. Weigle & R. Rippchen (Hrsg.), *MDMA: Die psychoaktive Substanz für Therapie, Ritual und Rekreation*. Löhrbach [u.a.]: Pieper's Medienexperimente [u.a.], 14-17
- Wenzl, E. (1997a). Aufgespürt, notiert und ergänzt. *Chemie in der Schule*, 44 (4), 138
- Wenzl, E. (1997b). Aufgespürt und entwirrt. *Chemie in der Schule*, 44 (7), 295
- Widdop, B. (2011). Colour Tests. In A.C. Moffat, M.D. Osselton & B. Widdop (Eds.), *Clarke's Analysis of Drugs and Poisons*. London: Pharmaceutical Press, 471-495
- Wiegrebe, W., & Vilbig, M. (1981). Struktur und Entstehung des farbigen Simon-Awe-Komplexes. *Zeitschrift für Naturforschung*, 86b, 1297-1304