

Vom Erdöl zum Kaugummi

Ein Kontext und seine Facetten

M. W. Tausch, M. Woock und M. Twellmann

1 Einführung – Evolution in der Chemiedidaktik

Betrachtet man den Wandel chemiedidaktischer Konzepte über einen langen Zeitraum, so stellt man die charakteristischen Merkmale eines Evolutionsprozesses fest. Es findet ununterbrochen eine Selektion statt, ab und zu gibt es auch eine tiefgreifende qualitative Veränderung. Der wohl bedeutendste chemiedidaktische Paradigmenwechsel im vergangenen Jahrhundert teilt dieses in eine *vor-Christen'sche* und eine *nach-Christen'sche* Periode ein [1].

Befinden wir uns derzeit wieder in einer Phase eines qualitativen Sprungs, der später mit dem Begriff *Kontext* verknüpft werden wird? Laut Duden versteht man unter *Kontext* den „Zusammenhang oder den Inhalt [eines Schriftstückes]“. Dabei ist die Art des Zusammenhangs nicht festgelegt. *Parchmann, Ralle* und *Demuth* haben im Zusammenhang mit dem Unterrichtskonzept „Chemie im Kontext“ eine weiterführende Umschreibung des Begriffes *Kontext* entwickelt [2]. Darin fordern sie, dass die Kontexte im Chemieunterricht komplexe, fachübergreifende Fragestellungen mit Bezug zur Lebenswelt darstellen, die die „Sinnhaftigkeit der Beschäftigung mit der Wissenschaftsdisziplin einsichtig machen“. Dieser Begriffsfestlegung wird ausdrücklich zugestimmt.

Die darin ausgesprochene Forderung an den Chemieunterricht ist aber nicht neu. Es kann anhand von Literatur aus den Anfängen der Chemiedidaktik belegt werden, dass diese Forderung so alt ist wie das Schulfach Chemie in Deutschland [3]. Wenn es nur bei dieser Forderung bleibt, ist „Chemie im Kontext“ also kein Paradigmenwechsel in der Chemiedidaktik. Wenn aber in Anlehnung an den *Salter's Chemistry Course* aus Großbritannien „die curriculare Struktur sich nicht in erster Linie an der wissenschaftlichen Fachsystematik des Faches Chemie, sondern an lebensweltlichen Themengebieten“ orientieren soll [4], dann bekommt das Schulfach Chemie in der Tat eine neue Qualität. Wir schließen uns der Warnung *Christens* an, dass Chemieunterricht die erforderlichen chemischen Grundlagen bereitstellen muss und nicht zur „*Haushaltskunde*“ entarten darf [5].

Selbstverständlich sind neue Unterrichtskonzepte, insbesondere solche, in denen Chemie im Zusammenhang mit globalen Schlüsselproblemen unserer Zeit (Rohstoffe, Alltagsprodukte, Energie, Ernährung u. a.) vermittelt wird, brauchbare Ergänzungen oder sogar Alternativen zu einigen angestaubten traditionellen Chemie-Lehrgängen. Die von der Chemiedidaktik vorgeschlagenen Konzepte müssen sich aber nach wie vor dem Selektionsdruck der Unterrichtspraxis stellen. Einige werden sich im Chemieunterricht bewähren und durchsetzen, andere werden scheitern. Es macht zwar Sinn, dass fachdidaktische Arbeitsgruppen

ihre Konzepte durch empirische Studien evaluieren, aber zu einer Implementation von oben, d. h. per Verordnung durch die Behörde, darf das nicht führen. Vielmehr sollten die neuen Konzepte als überzeugende Alternativen in fachdidaktischen Print- und Elektronikmedien sowie in der Lehreraus- und fortbildung vermittelt und empfohlen werden. Die „fittesten“ Konzepte werden sich dann in der Praxis durchsetzen.

2 Didaktische Integration – die Versöhnung von Fachsystematik und Kontext

Für viele Lehrerinnen und Lehrer, die einen motivierenden und fachlich hochwertigen Unterricht gestalten, muss es beleidigend wirken, wenn der Chemieunterricht in Deutschland pauschal schlecht geredet wird. Es ist unnötig, sie mit Anglizismen wie „Brainstorming“, „Mindmapping“, „Clustering“, „Gruppenpuzzle“ etc. über Unterrichtsformen zu belehren, die sie schon längst beherrschen und tagtäglich anwenden. Diesen Lehrerinnen und Lehrern sei von vornherein eingestanden, dass die *Didaktische Integration* kein völlig neuer Ansatz ist. Also schon wieder eine neue Worthülse für einen alten Hut?

Didaktische Integration bedeutet die Vereinigung von Fachsystematik und Kontext. Sie unterscheidet sich von „Chemie im Kontext“ dadurch, dass bei dieser Vereinigung die *Fachsystematik* bei der curricularen Gestaltung den *Vorrang* behält. Unter *Fachsystematik* wird dabei das Gerüst der Naturwissenschaft Chemie mit ihren grundlegenden Begriffen, Modellen, Ordnungssystemen und Konzepten sowie ihren Arbeits- und Denkweisen verstanden. *Das Primat der Fachsystematik vor dem Kontext ist notwendig*, weil Lernende nur so den kürzesten Weg zum raschen Verständnis der Naturwissenschaft Chemie finden können. Das aber ist die Voraussetzung, die Lernende dazu befähigt, auch selbstständig neue Kontexte zu erschließen. Im übrigen zeigt die Unterrichtserfahrung, dass unsere heutige Jugend einen häufigeren Wechsel von Alltagsbezügen bzw. von Teilaspekten eines größeren Kontextes der langanhaltenden, exhaustiven Bearbeitung ein- und desselben Kontextes vorzieht. Dieses Lernverhalten hängt eng mit den Lebensgewohnheiten von Kindern und Jugendlichen zusammen und zieht sich durch deren gesamte Schulzeit.

Der didaktisch-integrative Ansatz stellt im Rahmen von zeitlich eng gefassten Unterrichtsbausteinen zwar die problemorientierte Erschließung eines Kontextes durch die Schülerinnen und Schüler in den Vordergrund; die Kontexte und ihre Teilaspekte werden jedoch von den Lehrenden nach den Erfordernissen der aufbauend-vernetzten Struktur der Fachsystematik ausgewählt und funktionalisiert.

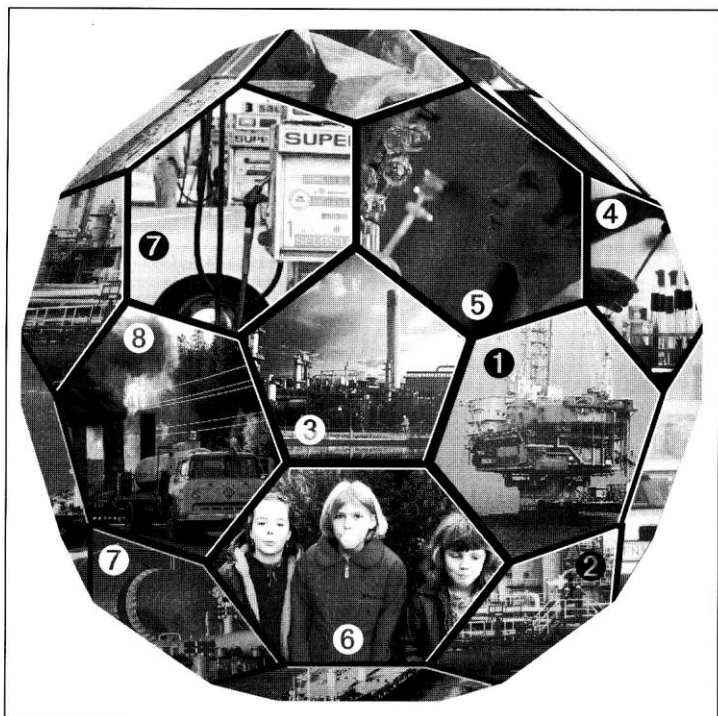


Abb. 1: Ein Kontext und seine Facetten (den Zahlen werden im Kasten Leitfragen bzw. -themen zugeordnet)

Die theoretische Grundlage für das Konzept der didaktischen Integration liefert der *lerntheoretische Konstruktivismus* nach Storck [6]. Dieses Konzept wurde von einem Autorenteam zunächst für die Unterrichtsinhalte der Sekundarstufe I in dem 1996 erschienenen Lehrwerk [7] verwirklicht. Darin sind die Unterrichtsbausteine als *Lernzyklen in 4 Stufen* konzipiert. Zu Beginn eines Lernzyklus werden das Vorwissen und die Denkmuster der Lernenden zu einem lebensnahen Kontext erkundet. Darauf aufbauend wird in den folgenden Stufen unter Einbeziehung neuer Fakten (das sind in der Regel Primärerfahrungen aus Experimenten) neues Wissen hinzu konstruiert. Dabei wird am fachsystematischen Gerüst der Chemie sinnvoll weiter gebaut. Ein Lernzyklus mündet schließlich wieder im Kontext, allerdings auf einer höheren Verständnisstufe. Gleichzeitig werden Fenster zu anderen Kontexten geöffnet. Die meisten dieser Lernzyklen sind auf 2 bis 4 Unterrichtsstunden begrenzt, einige (projektorientierte Themen) erstrecken sich jedoch auf bis zu 12 Unterrichtsstunden.

Wie lässt sich didaktische Integration in der Sekundarstufe II verwirklichen? Hier ist es möglich und zweckmäßig, längere Unterrichtssequenzen über mehrere Monate zu einem zentralen Kontext durchzuführen, wenn dieser adäquat in einzelne Facetten zerlegt werden kann. Adäquat bedeutet hier, dass die Facetten einen sachlogisch und fachsystematisch aufbauenden Unterrichtsgang ermöglichen. Nach einem gemeinsamen Vorlauf können einige Facetten auch arbeitsteilig in Gruppen vertieft und anschließend gemeinsam vernetzt werden.

3 Vom Erdöl zu Anwendungsprodukten – Petrochemie ist nach wie vor aktuell

Wir leben im Zeitalter der Petrochemie, in dem Erdöl der herausragende Primärenergieträger und Rohstoff zugleich ist. Es erübrigt sich, an dieser Stelle aufzuzeigen, warum und wie Erdöl unseren individuellen Lebensstandard, die

- 1. Warum wird Benzin immer teurer?** ♦ Energie- und Rohstoffproblematik, Erdöl als fossiler Brenn- und Rohstoff, Entstehung, Vorkommen und Transport von Erdöl
- 2. Woraus besteht Erdöl?** ♦ Raffination von Erdöl, Erdöl als Gemisch von brennbaren Stoffen, qualitative Elementaranalyse, Kohlenwasserstoffe, Löslichkeit, Flammpunkt, Entzündungstemperatur
- 3. Was heißt „chemische Veredlung von Erdöl“?** ♦ Cracken von Paraffinen, gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Nachweisreaktionen, homologe Reihen der Alkane und Alkene, Nomenklatur, Isomerie, Relation Molekülstruktur/Stoffeigenschaften
- 4. Isobuten, die Vorstufe zum Kaugummi** ♦ Herstellung von Isobuten aus *tert*-Butanol, Alkohole, funktionelle Gruppen, Oxidation, Reduktion, Oxidationszahl, Eliminierungsreaktion, Dehydratisierung, Additionsreaktion
- 5. Woher wissen wir eigentlich die Formel von Isobuten?** ♦ Experimentelle Herleitung der Molekülformel (Volumenvervierfachung bei der Oxidation mit Kupferoxid, Volumenvervierfachung bei der Thermolyse), experimentelle Bestätigung der Valenzstrichformel (chemische Reaktionen, Gaschromatographie, ggf. NMR-Spektroskopie)
- 6. Wie wird aus dem Gas Isobuten unser Kaugummi?** ♦ Polymerisation von Isobuten, Katalyse, Relation Polymerisationsgrad/Stoffeigenschaften, Reaktionsführung (Vergleich: Labor/Industrie), Stoffkreisläufe in einer Industrieanlage, Anwendungsprodukte aus oder mit Polyisobuten
- 7. Was kann man noch aus Isobuten machen?** ♦ Synthese von MTBE (Antiklopfmittel im Superbenzin), Ether, Relation Molekülstruktur/Stoffeigenschaften, Reaktionsführung (Vergleich: Labor/Industrie), Verbundsystem in der chemischen Wirtschaft
- 8. Wie beeinträchtigt die Verbrennung von Öl und Benzin die Umwelt?** ♦ Treibhauseffekt, Wintersmog, Photosmog, Ozonloch, Optionen für die Zukunft (chemisches Recycling von Kunststoffen, regenerative Energieträger, Synthese von Grundchemikalien mit Sonnenenergie)

Wirtschaft, die Umwelt und nicht zuletzt die Politik entscheidend beeinflusst. Wenngleich der Anteil des Erdöls als Primärenergieträger (hoffentlich!) in den nächsten Jahrzehnten abnehmen wird, bleibt Erdöl auf absehbare Zeit der wichtigste Rohstoff für Erzeugnisse der chemischen Industrie. Es wäre unverantwortlich, das Thema Erdöl aus dem Chemieunterricht, in dem es schon lange seinen Platz hat, zu verbannen. *Der Weg vom Rohstoff Erdöl zu Produkten unseres Alltags* kann als Kontext für eine didaktisch-integrative Unterrichtsreihe (vgl. Teil 2) dienen. Mit der einschränkenden Formulierung im Titel „Vom Erdöl zum Kaugummi“ soll deutlich werden, dass aus der enormen Vielfalt von Anwendungsprodukten eines herausgegriffen werden kann (beispielsweise Kaugummi bzw. Super-Benzin), dessen Syntheseweg nachvollzogen wird. Der Facetten-Ball in Abb. 1 illustriert, wie der zentrale Kontext dieser Unterrichtsreihe in einzelne Facetten zerlegt werden kann.

Die Facetten (Leitfragen) können in der 11. Schuljahrgangsstufe in der durch die Nummerierung in Abb. 1 dargestellten Reihenfolge bearbeitet werden. Es wird deutlich, dass die Bearbeitung der Leitfragen die Einführung der homologen Reihen und der funktionellen Gruppen, die Formelermittlung sowie die Einführung einiger Reaktionstypen und anderer Inhalte der organischen Chemie gewährleistet. Im Vergleich zu üblichen Einführungslehrgängen in die organische Chemie geschieht dies zügig und zielorientiert, mit jedem Unterrichtsschritt bleibt man im wahrsten Sinne des Wortes „am Ball“ (vgl. Abb. 1 und Kasten mit den Leitfragen). Tragende Säulen des Chemieunterrichts, wie das Konzept des chemischen Gleichgewichts, das Verbundsystem in der chemischen Industrie und die ökologischen Auswirkungen der Nutzung von fossilen Rohstoffen als Primärenergieträger werden in dieser Unterrichtsreihe an konkreten Beispielen erörtert.

4 Isobuten – industrielle Grundchemikalie und Modellschubstanz im Chemieunterricht

Isobuten gehört mit einer Jahresproduktion von über 1.000.000 Tonnen zu den Grundchemikalien in der organischen Synthesechemie.

In Abb. 2 ist der Weg vom Erdöl zum Kaugummi bzw. zum MTBE durch die grauen Pfeile dargestellt; die hellen Pfeile weisen auf weitere Anwendungsprodukte aus Isobuten hin. In Deutschland wird Isobuten von dem Konzern DEGUSSA-HÜLS hergestellt und zu Methyl-*tert.*-butyl-ether MTBE verarbeitet (Jahresproduktion: 220.000 t); die BASF-AG stellt verschiedene Sorten von Polyisobuten unter dem Handelsnamen Oppanol® her (ca. 10.000 t/a mittel- und hochmolekulare Oppanole® und ca. 70.000 t/a niedermolekulares Polyisobuten für Benzinadditive, vgl. Abb. 2).

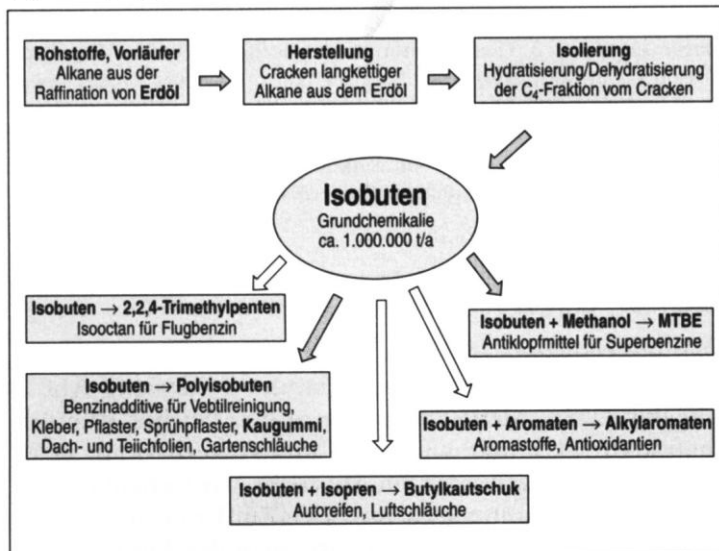
Isobuten ist aufgrund seiner denkbar einfachen und sehr kostengünstigen Herstellung aus *tert.*-Butanol und seiner interessanten Eigenschaften bereits in Schulbüchern vertreten [8] und wurde in einigen fachdidaktischen Arbeiten als unterrichtsrelevante Substanz beschrieben [9], [10], [11]. Die MTBE-Synthese ist sogar als Beispiel für einen technischen Prozess im Lehrplan von Nordrhein-Westfalen enthalten [12].

Während die bisher beschriebenen Synthesen von MTBE als Schulversuch in vertretbarer Zeit nur sehr geringe Mengen liefern, die lediglich gaschromatographisch nachgewiesen werden können [9], [11], gelingt es in einer neuen Versuchsvariante, in weniger als einer halben Stunde ca. 10 ml MTBE aus Isobuten und Methanol zu synthetisieren und damit Nachweisversuche im Reagenzglas durchzuführen (vgl. Teil 5). In diesem Beitrag beschreiben wir ebenfalls die Synthese von Polyisobuten mit einfachen Geräten und Chemikalien ohne den Einsatz von schulunüblichen Mitteln wie etwa Trockeneis (vgl. dazu [13]).

Zuvor wollen wir auf einige Besonderheiten hinweisen, die Isobuten als interessante Modellschubstanz für den Chemieunterricht hervorheben:

- Der Weg vom Rohstoff (Erdöl) zu einem Anwendungsprodukt (Kaugummi) über Isobuten ist kürzer als bei jedem anderen synthetischen Anwendungsprodukt (Polyethen und Polypropen ausgenommen).

Abb. 2: Industrielle Herstellung und Verwendung von Isobuten (vgl. auch [14])

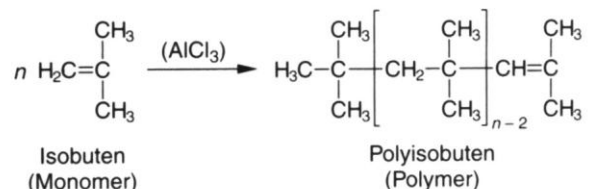


- Da Isobuten (wie Ethen und Propen) eine Drehscheibe zu mehreren Anwendungsprodukten darstellt, kann bei der Herstellung einiger dieser Produkte, beispielsweise bei der MTBE-Synthese, das Verbundsystem in der chemischen Wirtschaft verdeutlicht werden.
- Die Schlüsselprozesse der mit Isobuten verlaufenden Synthesen können in Schulversuchen industrienah nachvollzogen werden. Es werden die gleichen Reaktanden, Katalysatoren und Lösemittel wie in der Industrie eingesetzt (bzw. sehr ähnliche). Die Versuchsanordnungen enthalten wesentliche Elemente der industriellen Anlagen.
- Isobuten ist unter Bedingungen, die *im Schullabor* leicht zu realisieren sind, als *Gas* und als *Flüssigkeit* herstellbar und in Reaktionen einsetzbar. Damit nimmt es eine Sonderstellung unter allen Alkenen ein, die als Grundchemikalien relevant sind.
- Isobuten ist hervorragend für die experimentelle Ermittlung der Molekülformel einer organischen Verbindung geeignet. Die entsprechenden quantitativen Versuche werden in Kolbenprober-Apparaturen durchgeführt und liefern sehr gute Ergebnisse. Unter Zugrundelegung des Stoffmengenkonzepts und der Hypothese von *Avogadro* ist ihre Auswertung praktisch frei von Rechnungen.
- Als eines unter den 6 Isomeren mit der Molekülformel C₄H₈ (1-Buten, *cis*- und *trans*-2-Buten, Isobuten, Cyclobutan, und Methylcyclopropan) eignet sich Isobuten zusammen mit dem durch Hydrierung von Isobuten leicht zugänglichen Isobutan (Bestandteil des Feuerzeuggases!) auch zur Einführung und Differenzierung des Isomeriebegriffs.
- Da Isobuten eines der vordersten Glieder in einer homologen Reihe ist, bietet die Beschäftigung mit dieser Substanz eine gute Gelegenheit, die homologen Reihen und die Grundprinzipien des Klassifikationssystems und der Nomenklatur in der organischen Chemie (Molekülgerüst und funktionelle Gruppen) einzuführen.
- Im Zusammenhang mit den (auch technisch relevanten) Umkehrreaktionen, an denen Isobuten beteiligt ist, beispielsweise die Bildung und der Zerfall von *tert.*-Butanol und von MTBE, kann das Konzept des chemischen Gleichgewichts eingeführt und/oder angewandt werden.
- Die in Abb. 2 dargestellten Synthesen mit Isobuten implizieren unterschiedliche Reaktionsmechanismen, die im Leistungskurs erörtert werden können. Im 11. Schuljahrgang sollte man allerdings der Versuchung widerstehen, auf Reaktionsmechanismen einzugehen, etwa auf die elektrophile Addition, den Grundvorgang bei der kationischen Polymerisation von Isobuten.

5 Polyisobuten und MTBE – Industrielle Synthesen in Schulversuchen

☞ Arbeitsblätter zu den folgenden Versuchen sind als **Online-Ergänzungen** zugänglich.

5.1 Herstellung, Verflüssigung und Polymerisation von Isobuten



Geräte:

Erlenmeyerkolben, Magnetrührer mit Heizung (oder Heizpilz), Liebig-Kühler, Waschflasche, Eis/Salz-Kältemischung, Reagenzgläser.

Chemikalien:

tert.-Butanol (CH₃)₃COH **F, Xn**; konz. Schwefelsäure H₂SO₄ **C**; Ethylenglycol C₂H₄(OH)₂ **Xn**; Aluminiumchlorid AlCl₃ **C**; Dichlormethan CH₂Cl₂ **Xn**; Pentan C₅H₁₂ **F⁺, Xn, N**; Bromwasser Br₂ (aq) **C, T**

Durchführung und Beobachtungen:

a) *Herstellung von flüssigem Isobuten:* Im Erlenmeyerkolben aus der Vorrichtung in Abb. 3 wird Isobuten erzeugt und über den Kühler abgeleitet. Reste aus tert.-Butanol, die trotz des Kühlers zusammen mit dem Isobuten entweichen, werden in Ethylenglycol gelöst und zurückgehalten, so dass weitgehend reines Isobuten in die Kühlfalle gelangt (Alternativ zum Ethylenglycol: Waschflasche mit Wasser und danach Trockenrohr mit Calciumchlorid). Die Temperatur der Kältemischung muß unterhalb von -7 °C liegen. In der Kühlfalle kondensiert flüssiges Isobuten. Nicht kondensiertes Isobuten wird in den Abzug oder ins Freie geleitet. *Beobachtung:* In 25 min. erhält man ca. 4 ml flüssiges Isobuten. Entnimmt man mit der Pipette etwas davon, und bringt es auf Raumtemperatur, so verdampft es sofort.

Hinweis: Statt des selbst hergestellten Isobutens kann auch Isobuten aus einer Druckdose verwendet werden. Eine 0,5 kg Isobuten-Druckdose kostet ca. 100,- DM. Sie ist über den Chemikalienhandel erhältlich.

b) *Vorbereitung der Katalysator-Lösung:* Kurz vor dem Versuchsschritt c) wird in einem kleinen Erlenmeyerkolben eine Lösung aus einer Spatelspitze (ca. 0,5 g) wasserfreiem Aluminiumchlorid in ca. 10 ml Dichlormethan hergestellt. Der Kolben wird verschlossen.

c) *Polymerisation:* An der Kühlfalle aus a), in der sich nun das flüssige Isobuten befindet, wird das Einleitungsrohr durch ein Thermometer ersetzt. Das Rggl. bleibt in der Kältemischung. In das flüssige Isobuten werden ca. 0,5 ml Katalysator-Lösung pipettiert. Man rührt mit dem Schacht des Thermometers vorsichtig um und beobachtet die Temperatur ca. 3 min lang. *Beobachtung:* Die Temperatur steigt bei der Zugabe der Katalysator-Lösung an.

d) *Produktuntersuchung:* Der Inhalt des Rggl. aus c) wird (bis auf einen Rest von ca. 0,5 ml, den man noch später benötigt) auf ein großes Uhrglas gegossen. *Beobachtung?* Nachdem keine Verdunstung mehr wahrzunehmen ist, wird die Zähigkeit der Masse auf dem Uhrglas mit einem Glasstab geprüft. Mit dem Produkt wird versucht, Papier oder Kunststofffolie zu verkleben. *Beobachtung:* Das Produkt ist zähflüssig bis fest und verklebt Papier und PE-Folien. *Anmerkung:* AlCl₃ kann durch Auswaschen mit Wasser entfernt werden.

e) *Nachweis von Doppelbindungen im Produkt:* Das Rggl. mit dem restlichen Produkt aus d) wird mit der Handfläche erwärmt und schräg bzw. waagrecht gehalten, um die Verdunstung des flüssigen Anteils zu beschleunigen. Zu dem zähflüssigen Rückstand wird 1 ml Pentan hinzu pipettiert und die Löslichkeit beobachtet. Die Lösung wird mit 3 ml Bromwasser versetzt und geschüttelt. *Beobachtung:* Der Rückstand löst sich in Pentan gut; die Lösung entfärbt Bromwasser.

f) *Untersuchung von Pflaster-Klebstoff:* Von ca. 8 cm² Wundpflaster wird der Klebstoff mit ca. 10 ml Pentan abgelöst. Die Lösung wird mit verdünntem Bromwasser versetzt und geschüttelt. *Beobachtung:* Das Bromwasser entfärbt sich.

Ergänzende Anmerkungen: Industriell wird Polyisobuten durch kationische Polymerisation von Isobuten mit der Lewis Säure BF₃ als Katalysator hergestellt. Man erhält bei -20 °C ein niedermolekulares, öliges Polymer

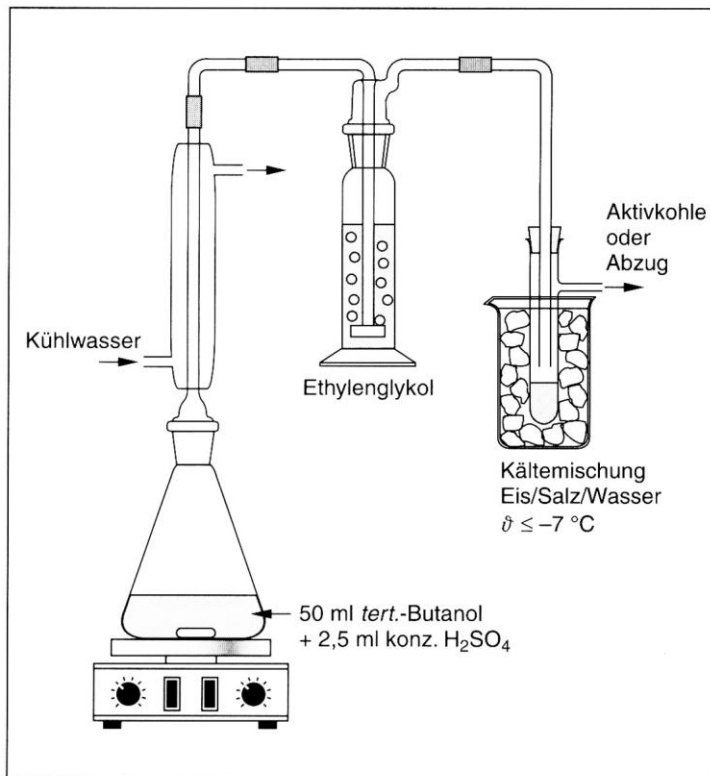
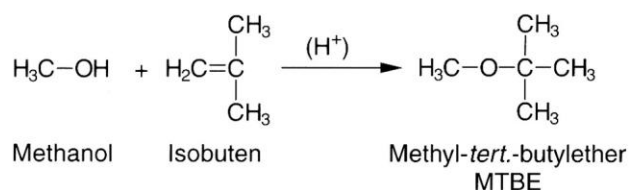


Abb. 3: Versuchsaufbau zur Herstellung und Verflüssigung von Isobuten (vgl. auch [14])

(10 < n < 50) und bei tieferen Temperaturen klebrige Produkte (50 < n < 1000). Um hochmolekulares, elastisches Polyisobuten mit n > 1000 zu erhalten, arbeitet man bei -104 °C in flüssigem Ethen als Lösemittel. In der Industrieanlage werden der Katalysator, das Lösemittel (Hexan) und das Prozesswasser, mit dem der Katalysator aus dem Polymer entfernt wird, im geschlossenen Kreislauf geführt. Durch Copolymerisation von Isobuten mit 1 % bis 3 % Isopren erhält man Butylkautschuk mit einer exzellenten Luftundurchlässigkeit und Resistenz gegen Sauerstoff. Zur Verwendung der verschiedenen Polyisobuten-Sorten siehe Abb. 2.

5.2 Synthese MTBE und Untersuchung des Syntheseprodukts



Geräte:

Waschflasche mit Fritteneinsatz, Magnetrührer mit Heizung, 1 gr. und 1 kl. Magnetrührkern, 2 Thermometer, 1 gr. Becherglas (hohe Form, ca. 1000 ml), 1 kl. Becherglas (hohe Form, ca. 600 ml), T-Stück, Quetschhahn, ca. 40 cm langes Glasrohr, Glaswolle, elektrisch geheiztes Glasrohr, Wechselspannungsquelle, Voltmeter, Reagenzglas mit Seitenansatz, durchbohrter Stopfen, gebogenes Glasrohr, Silikonschlauch bzw. -schlauchstücke, ggf. 2 mit gekörnter Aktivkohle gefüllte Trockenrohre, Reagenzgläser, Pipetten, Messer, Pinzette

Chemikalien:

Methanol CH₃OH **F, T**; Isobuten **F⁺**; Amberlyst 15 wet; dest. Wasser, Heptan C₇H₁₆ **F, Xn, N**; Bromwasser Br₂ (aq) **C, T**; Natrium **F, C**

Durchführung und Beobachtungen:

a) *Synthese von MTBE:* Die Apparatur wird wie in Abb. 4 aufgebaut. Am Magnetrührer wird eine leichte Rührung eingestellt. Das Methanol wird im Wasserbad auf 60 °C erhitzt. Der Katalysator im Heizrohr wird ebenfalls auf 60 °C erhitzt (Spannung ca. 8-9 V~). Zur Erleichterung der exakten Temperatureinstellung ist zuvor die Aufnahme ei-

6 Ausblick – Materialien und Unterrichtsmodule

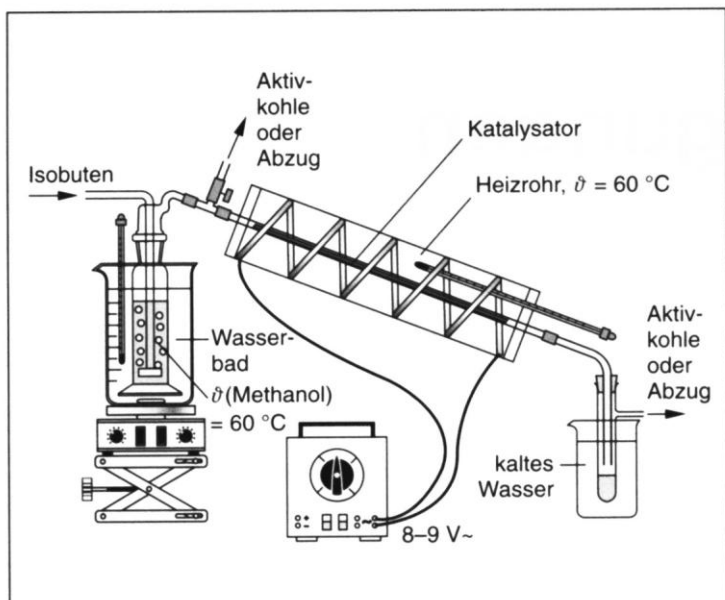


Abb. 4: Versuchsaufbau zur Synthese von MTBE (vgl. auch [14])

nes Spannung-Temperatur-Diagramms empfehlenswert. Ein schwacher Isobutenstrom (Herstellung vgl. Abb. 3 links) wird durch das erhitzte Methanol in das geheizte Reaktionsrohr geleitet. Die Reaktion wird nach ca. 20 min abgebrochen. *Beobachtung:* Nach ca. 5–8 min beginnt die Kondensation einer farblosen, klaren Flüssigkeit in der gekühlten Vorlage. Man erhält nach 20 min etwa 8–12 ml Kondensationsprodukt.

b) *Löslichkeit des Syntheseprodukts:* In einem Rggl. versetzt man ca. 1 ml des Reaktionsprodukts mit je 1 ml dest. Wasser bzw. Heptan und schüttelt. *Beobachtung:* Im Rggl. mit dest. Wasser bilden sich 2 Phasen; die organische (obere) Phase wird abpipettiert und für Versuch d) aufgehoben. Im Rggl. mit Heptan ist keine Phasentrennung zu beobachten.

c) *Reaktion des Produkts mit Bromwasser:* Zu ca. 1 ml Reaktionsprodukt gibt man in einem Rggl. etwa das gleiche Volumen Bromwasser und schüttelt. *Beobachtung:* Das Bromwasser wird entfärbt. In einem Rggl. wird ca. 1 ml Reaktionsprodukt zum Sieden erhitzt (um Isobuten-Reste auszutreiben) und dann in ein zweites Rggl. pipettiert. In dieses gibt man wiederum das gleiche Volumen Bromwasser und schüttelt. *Beobachtung:* Das Bromwasser wird nicht entfärbt.

d) *Reaktion des Produkts mit Natrium:* In einem Rggl. gibt man zu ca. 1 ml Reaktionsprodukt ein etwa linsengroßes Stück Natrium. *Beobachtung:* Die Reaktion verläuft schnell unter heftiger Gasentwicklung. Zu der abpipettierten organischen Phase aus b) die kaum noch Methanol-Reste enthält, gibt man ebenfalls ein etwa linsengroßes Stück Natrium. *Beobachtung:* Die Reaktion verläuft nur langsam unter sehr schwacher Gasentwicklung.

Anmerkung: Die Versuche b), c) und d) sowie die Geruchsprobe können zum Vergleich auch mit authentischem MTBE durchgeführt werden.

Ergänzende Anmerkungen: Die industrielle Synthese von MTBE erfolgt ebenfalls in einer durch Feststoffsäure katalysierten Reaktion aus Methanol und Isobuten. Als Katalysator dient hier gleichermaßen das Ionenaustauscherharz Amberlyst 15. Im Industrieverfahren wird die Synthese unter erhöhtem Druck und bei Temperaturen unterhalb von 100 °C durchgeführt; die Edukte liegen hier beide in der Flüssigphase vor. So können Umsätze von 95 % und mehr erreicht werden. Die Reinigung des Rohprodukts erfolgt durch Abdestillation des Azeotrops Methanol-MTBE und nachfolgender Extraktion des restlichen Methanols mit Wasser. Das Methanol wird vom Waschwasser getrennt und wieder in den Prozess zurückgeführt. Zur Verwendung von MTBE siehe Abb. 2.

Im Rahmen eines Projekts, an dem Fachdidaktik, Schule und Industrie beteiligt sind, werden weitere Materialien zum hier diskutierten Kontext (vgl. Abb. 1 und Abb. 2) entwickelt und evaluiert. Andere von uns zur Zeit bearbeitete Kontexte fokussieren die Begriffe „Aromastoffe“, „Stoffkreisläufe“ und „Licht“ [14]. Dazu werden Experimente und diverse Materialien (Arbeitsblätter, Folien, Graphikanimationen, Internetlinks, Schulbücher) entwickelt und in didaktisch-integrative Unterrichtskonzepte eingebunden. Eine zentrale Aufgabe beim übergeordneten Kontext dieses Beitrags ist die Entwicklung und Optimierung von industrierelevanten und didaktisch prägnanten Experimenten, die unter Schulbedingungen durchführbar sind.

Dank

Der BASF-AG und der Degussa-Hüls-AG danken wir für die Unterstützung.

Literatur

- [1] M. W. Tausch, Atom, Molekül, Mol – eine Schulbuchsynopse über 80 Jahre. PdN-Chemie, **43** (7), 32 (1994)
- [2] Parchmann, B. Ralle und R. Demuth, Chemie im Kontext, MNU, **53** (3), 132 (2000); vgl. auch dieses Heft, S. 2
- [3] K. Scheid, Methodik des chemischen Unterrichts. Verlag von Quelle & Meyer, Leipzig 1927, S. 8
- [4] H. Huntemann, A. Paschmann, I. Parchmann, Chemie im Kontext – ein neues Konzept für den Chemieunterricht? CHEMKON, **6** (4), 191 (1999)
- [5] H. R. Christen, Chemieunterricht: gestern, heute, morgen. CHEMKON, **7** (2), 64 (2000)
- [6] H. Stork, Was bedeuten die aktuellen Forderungen ‚Schülervorstellungen berücksichtigen, konstruktivistisch lehren‘ für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I? Z.f.Did.Natwiss., **1**, 15, (1995)
- [7] M. W. Tausch, M. von Wachtendonk, H.-R. Porth, I. Schulze und H. Wambach, Stoff-Formel-Umwelt. Chemie S I, C. C. Buchner, Bamberg 1996
- [8] M. W. Tausch, M. von Wachtendonk, H.-R. Porth, I. Schulze und H. Wambach, Stoff-Formel-Umwelt. Chemie S II, C. C. Buchner, Bamberg 1993
- [9] S. Wartjes, I. Eilks und B. Ralle, MTBE (Methyl-tert.-butylether) – moderne Katalyse im Unterricht. CHEMKON, **4** (2), 77 (1997)
- [10] I. Eilks, A. Torge und B. Ralle, Die Dimerisierung von Isobuten: Markovnikov, ja – Saytzeff, nein. MNU, **50** (8), 477 (1997)
- [11] R. Scheller und E. Just, Der Syntheseweg von MTBE im Schulexperiment. PdN-Chemie, **41** (2), 12 (1992)
- [12] Richtlinien und Lehrpläne NRW, Chemie Sekundarstufe II, Schriftenreihe Schule in NRW Nr. 4723, Ministerium für Schule, Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung, Düsseldorf (1999)
- [13] M. Adelhelm und E.-G. Höhn, Zur Demonstration der Polymerisation im Chemieunterricht. CHEMKON, **1** (3), 138 (1994)
- [14] Homepage der Chemiedidaktik an der Gerhard Mercator Universität-GH Duisburg: <http://www.theochem.uni-duisburg.de/DC>

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Michael W. Tausch, Michael Woock und Michael Twellmann, Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, Institut für Synthesechemie, Chemie und ihre Didaktik, Lotharstr. 1, 47057 Duisburg