

**Sicher und sachgerecht:**

**Experimentieren mit Gefahrstoffen**

**in geschlossenen Apparaturen**

**mit der Halbmikrotechnik**

**und**

**Entsorgung ins**

**natürliche Gleichgewicht**

**Dr. Klaus-G. Häusler**

# 1 Ziel des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts „Chemie“ an allgemeinbildenden Schulen

Während des Heranwachsens werden das Wissen und die Erkenntnisse zur Bewältigung der Umwelt vom Kollektiv auf das Individuum übertragen. In unserer Gesellschaft geschieht das unter anderem in der Schule. Für die Naturwissenschaften sind dafür verschiedene Fächer zuständig: Physik → Energie und Stoff; Chemie → Stoff und Stoffänderung, Biologie → Stoffänderung und Leben, Philosophie → Leben und Logik, Mathematik → Logik und Erfassen von Raum und Zahl (Quantifizierung).

Lernen bedeutet gleichzeitig Verantwortung zu übernehmen, Lehren bedeutet Verantwortung zu übergeben. Voraussetzung für beides ist die Vermittlung von Kenntnissen durch eigene Erfahrung und eigenes Tun. Individuelles Lernen ist nur möglich durch Nutzung von Freiheiten, auch im Fehlverhalten und Misserfolg. Individuelles Lehren bedeutet daher nicht, Fehler von Schülern und Schülerinnen gänzlich zu vermeiden, sondern exemplarisch Fehler zuzulassen, um dadurch falsches Handeln erkennbar zu machen und die Notwendigkeit zu vorausschauendem Handeln zu vermitteln.

Schülerübungen sind dazu am besten geeignet, Verantwortung zu erlernen, wo immer es möglich, vertretbar und zulässig ist. Es ist die Aufgabe der Lehrenden, die Schülerübungen so zu gestalten, dass Schülerinnen und Schüler die Gefährdung erkennen, beurteilen und bewerten können:

- Die Möglichkeiten werden begrenzt durch die altersgemäßen Fähigkeiten und Fertigkeiten: Pädagogik; Didaktik; Methodik;
- Die Vertretbarkeit ist durch das Verhältnis von Aufwand und Nutzen bestimmt: Ökonomie, Ökologie: Nachhaltigkeit;
- Die Zulässigkeit allgemein wird beurteilt durch die Erfahrung: Ethik, Moral; Regelungen des Gesetzgebers.

Zu den grundsätzlichen Bedingungen des Lernens und Lehrens kommen die Inhalte. Allem vorangestellt ist die fachübergreifende und fächerverbindende Erkenntnis:

**Natur ist Alles, Alles ist Natur.**

**Alles in der Natur befindet sich im Gleichgewicht.**



Teile der Natur werden System, der Rest Umgebung genannt. In den Naturwissenschaften erforscht man die Natur, indem man Stoff- und Energieübergang vom System und der Umgebung zu erklären versucht.

Im Fach Chemie ist die Halbmikrotechnik und das Arbeiten im geschlossenen System die Methode, die Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gibt, durch eigenes Handeln Erkenntnisse über die Stofflichkeit der Natur und die bestehenden und einzuhaltenden Gleichgewichte zu erfahren und verantwortlich Handeln zu lernen.

Schülerinnen und Schüler sollen die sichere und sachgerechte Tätigkeit mit Stoffen, insbesondere Gefahrstoffen erlernen.

**„Chemie lehrt die verantwortungsvolle Tätigkeit mit Stoffen.“**

## 2 Entwicklung von naturwissenschaftlicher Erkenntnis

### 2.1 Von der Vorzeit zur Gegenwart

Schon in der Vorzeit war bekannt: „Stoffe“ können nur gefährlich werden, wenn man mit ihnen in Kontakt kommt. Aber der Versuch, alle Gefahren auszuschließen, verhindert die eigentliche Absicht der „Kontaktaufnahme“!

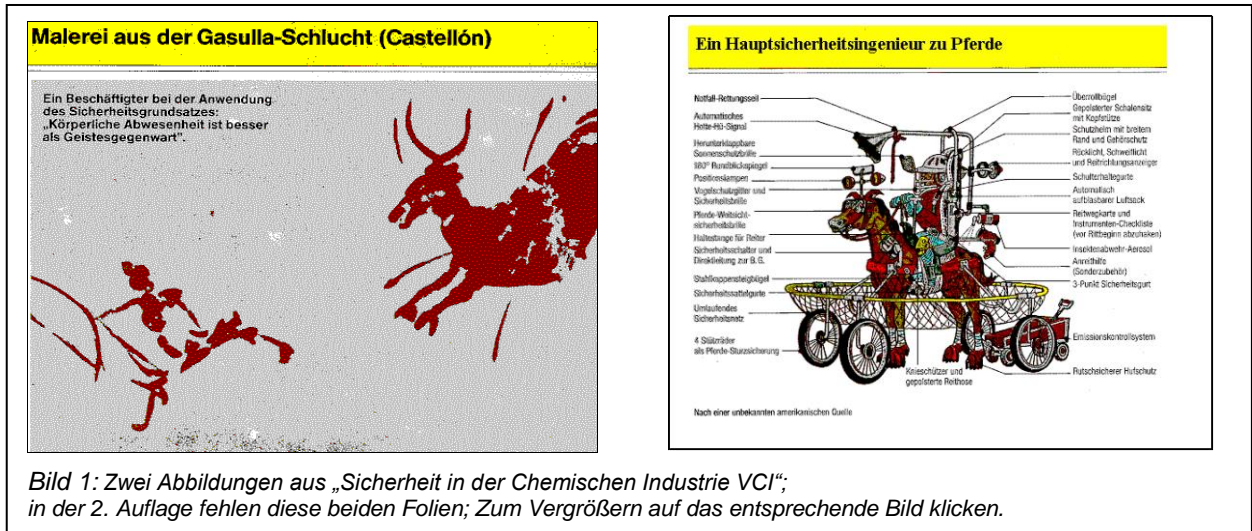


Bild 1: Zwei Abbildungen aus „Sicherheit in der Chemischen Industrie VCI“; in der 2. Auflage fehlen diese beiden Folien; Zum Vergrößern auf das entsprechende Bild klicken.

Das angeborene Wissen um den sicheren Umgang mit Stoffen (Bild 1a) wurde historisch gesehen anfangs nur begrenzt in die Chemie übernommen. Lange galt mangels geeigneter Untersuchungsmethoden ein neuer Stoff als ungefährlich, solange keine Gefährdungen bekannt wurden.

Diese Einstellung und die gemachten Erfahrungen haben zu dem negativen Ansehen der „Chemischen Industrie“ geführt, obwohl niemand auf die Errungenschaften der chemischen Forschung bestreiten oder auf sie verzichten kann. Das führt zu Gegenreaktionen (Bild1b).

Der Gesetzgeber hat die Aufgabe, Verhalten in der Gemeinschaft zu regeln. Für die Tätigkeit mit Stoffen geschieht das durch eine Reihe von Gesetzen, Verordnungen und Vorschriften. Dazu zählen das Chemikaliengesetz, die Gefahrstoffverordnung und verschiedene Technische Richtlinien zur Tätigkeit mit Gasen, brennbaren Flüssigkeiten, das Jugendschutzgesetz, das Mutterschutzgesetz und weitere Gesetze und Verordnungen. Für die Schule sind die relevanten Abschnitte der Vorschriften in den „Richtlinien für Sicherheit im Unterricht (RISU-NRW)“ zusammengefasst.

### 2.2 Gesetzliche Regelung

Der Gesetzgeber legt für das in der Chemie vorkommende Arbeitsverfahren eine Rangfolge der Schutzmaßnahmen fest. Dazu werden sogenannte Schutzstufen definiert. Dem Arbeitgeber, das ist im Sinne des Gesetzes auch die Schule, obliegt es, die Tätigkeit mit Stoffen, besonders aber mit Gefahrstoffen den Schutzstufen zuzuordnen und die Zuordnung zu dokumentieren.

In der ehemaligen GefStoffV (gültig bis 2004) galten die folgenden Vorschriften:

#### §19 Abs. 1 GefStoffV:

"Das Arbeitsverfahren ist so zu gestalten, daß gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe nicht frei werden, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Das Arbeitsverfahren ist ferner so zu gestalten, daß die Arbeitnehmer mit gefährlichen festen oder flüssigen Stoffen oder Zubereitungen nicht in Hautkontakt kommen, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist."

#### §19 Abs. 2 GefStoffV:

"Kann durch **Maßnahmen** nach Absatz 1 nicht unterbunden werden, daß gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe frei werden, sind diese an ihrer Austritts- oder Entstehungsstelle vollständig zu erfassen, und anschließend ohne Gefahr für Mensch und Umwelt zu entsorgen, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist."

### §19 Abs. 3 GefStoffV:

"Ist eine **vollständige** Erfassung nach Absatz 2 nicht möglich, so sind die nach dem Stand der Technik entsprechenden Lüftungsmaßnahmen zu treffen."

### §19 Abs. 5 GefStoffV:

"Werden nach Durchführung der Maßnahmen nach Absatz 1 bis 3 die Maximalen Arbeitsplatzkonzentration oder der Biologische Arbeitsplatztoleranzwert<sup>1</sup> nicht unterschritten, hat der Arbeitgeber wirksame und **hinsichtlich** ihrer Trageigenschaften geeignete persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung zu stellen und diese in gebrauchsfähigem, hygienisch einwandfreiem Zustand zu halten und dafür zu sorgen, daß die Arbeitnehmer nur so lange beschäftigt werden, wie es mit dem Gesundheitsschutz vereinbar ist.

Satz 1 gilt auch, **wenn** mit allergischen Reaktionen zu rechnen ist. Die Arbeitnehmer müssen die zur Verfügung gestellten persönlichen Schutzausrüstungen benutzen. Das Tragen von Atemschutz und Vollschutzanzügen darf keine ständige Maßnahme sein."

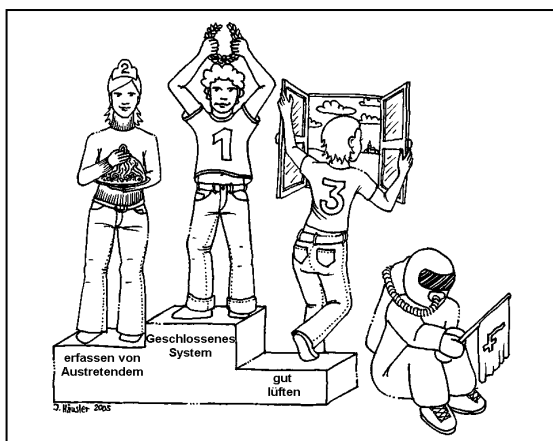


Bild 2: Rangfolge für die Arbeitssicherheit

Im Vorläufer der RISU-NRW, der damaligen SintU, fehlte der wichtige Absatz 4 der GefStoffV. Dieser Absatz zwingt zum Überdenken der allgemeinen Laborpraxis.

### §19 Abs. 4 GefStoffV:

"Ist die Sicherheitstechnik eines Arbeitsverfahrens fortentwickelt worden, hat sich diese bewährt und erhöht sich die Arbeitssicherheit hierdurch erheblich, so hat der Arbeitgeber das nicht entsprechende Arbeitsverfahren soweit zumutbar innerhalb einer angemessenen Frist dieser Fortentwicklung anzupassen."

**Mit der Gültigkeit des Schutzstufenkonzeptes in der RISU-NRW ist dieser Mangel beseitigt.** (zur Zeit ersatzlos gestrichen!)

### 2.2.1 Was versteht man unter „sicherer Tätigkeit“?

Sicher ist die Tätigkeit mit Stoffen, wenn Stoffe, die nicht miteinander reagieren sollen, sich nicht berühren können. Werden neue Stoffe oder Stoffe in einer anderen Konzentration hergestellt, als sie im natürlichen Gleichgewicht vorkommen, so dürfen sie nicht freigesetzt werden. Sie sind in einer geschlossenen Apparatur zu handhaben.

### 2.2.2 Was ist nennt man eine „sachgerechte Tätigkeit“?

Sachgerecht arbeiten heißt, die Freisetzung eines Stoffes oder den Gebrauch in der Umwelt so lange zu verhindern, bis seine Ungefährlichkeit in Form seiner chemischen Aktivität oder Konzentration bekannt ist. Ein Stoff darf in der Umwelt nur so verwendet werden, dass er die von ihm ausgehende Gefährdung unterhalb der Schwelle der natürlichen oder unvermeidbaren Belastung bleibt. Diese Herabstufung eines Gefahrstoffes in einen Zustand nahe dem natürlichen Gleichgewicht nennt man „Entsorgung“.

### 2.2.3 Schutzstufenkonzept

Beim Experimentieren in der Schule sollen Erkenntnisse gewonnen, Fähigkeiten erworben und Fertigkeiten erlangt werden. Für alle drei Bereiche reicht es, wenn man mit kleinsten Stoffportionen umgeht. Dabei ist die Halbmikrotechnik in besonderer Weise geeignet, den Anforderungen des Unterrichts zu genügen. Zum einen sind die gleichen Labortechniken anwendbar wie in der Makrotechnik. Man kann also noch Filtrieren, Umkristallisieren und Destillieren, was für den Einsatz in der Technik wichtig ist. Die Mikrotechnik ist mehr auf analytische Aufgaben ausgerichtet. Hier sind Tüpfeltechnik und Farbreaktionen die Methoden der Wahl. Zum anderen sind die Stoffportionen in der Halbmikrotechnik gerade noch so groß, dass Gasvolumina in geschlossenen Apparaturen gehandhabt werden können. Mit der Miniaturisierung einerseits und der Möglichkeit des Arbeitens im geschlossenen System sind zwei wichtige Forderung des Schutzstufenkonzeptes der GefStoffV und RISU-NRW erfüllt. Die Substitutionsprüfung ist von der Arbeitsmethode unabhängig zu leisten.

<sup>1</sup> Heute ersetzt durch den Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)

### 3 Lehrauftrag und experimentelle Umsetzung

Wesentlich für das Erlernen von Naturwissenschaften ist das Wissen um den Unterschied zwischen „Definition“ und „Naturgesetz“.

Eine Definition legt den Inhalt eines Begriffs fest und ist nicht zu hinterfragen, daher auch nicht zu „verstehen“. Ein Naturgesetz hingegen besteht in einer folgerichtigen Verknüpfung von Begriffen. Unter „folgerichtig“ versteht man die gedankliche Verknüpfung von Aussagen. Die folgerichtige Gedankliche Verknüpfung wird Logik genannt.

Zwischen den verschiedenen Naturerscheinungen gibt es beobachtbare Ketten von Ursachen und Wirkungen in der Natur, die bestenfalls auch quantitativ erfasst werden können.

Eine Naturwissenschaft besteht daher aus:

- Definitionen, um sich eindeutig verständigen zu können,
- Naturgesetze, um Naturgeschehen nicht nur beobachten, sondern auch beschreiben und voraussagen zu können.
- Methoden, Definitionen und Naturgesetze zu erarbeiten.

Es ist daher der allgemeine Lehrauftrag; Wissen und Kompetenzen zu vermitteln. Das Lehrfach Chemie speziell befasst sich mit der Vermittlung stofflicher Gleichgewichte.

Anmerkung: Unter einem Gleichgewicht versteht man einen Zustand in der Natur, der sich im betrachteten Zeitraum nicht ändert.

#### 3.1 Das physikalische Gleichgewicht bei Stoffen

Unter einem Stoff versteht man in den Naturwissenschaften einen Zustand der Natur, der Masse, Platzbedarf und Energie besitzt. Es ist im derzeitigen Curriculum der Chemie zugeordnet, die Begriffe Dichte und damit Masse und Platzbedarf einzuführen. Das ist besonders schwierig, da die Kinder im Alter von 12 Jahren nur über den allgemeinen Sprachgebrauch verfügen; hier würde man für die Beschreibung von Stoffen die Wörter Gewicht, Volumen und Temperatur benutzen. Allerdings sind die Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig bekannt. Man kann daher diese Begriffe nutzen, die Eigenschaften von Stoffen durch logische Schlüsse erfolgen.

Platzbedarf: Man lässt ein Reagenzglas mit Wasser füllen, ohne den Füllstand vorzugeben. Die Frage, was sich im RG befindet, wird in der Regel mit Wasser beantwortet, auch wenn das RG nicht vollständig gefüllt ist. Luft wird nicht wahrgenommen, bzw. ist es nicht „wert“, wahrgenommen zu werden.

**Leitsatz:** Man kann die Natur nur erkennen, wenn es bemerkbare Unterschiede gibt.

Versuch: Hält man das Glas verschlossen und kehrt es um, so fließt das Wasser nach unten, der Raum darüber wird mit Luft gefüllt bezeichnet.

**Leitsatz:** Will man die Natur erkennen, wo keine Unterschiede erkennbar sind, muss man Unterschiede herbeiführen.

Dazu holt man sich einen Ausschnitt aus der Natur und nennt diesen Ausschnitt „System“. Anschließend werden Veränderungen am System durch Einfluss von außen untersucht.

**Leitsatz:** Um Unterschiede zu erzwingen, ist Energie notwendig.

Diese einfachen Erkenntnisse sind die Grundlage für sämtliche Bemühungen im Labor. Sie können nun übertragen werden auf das natürliche Gleichgewicht.

Versuch: Ein einfacher Fall ist das Eintauchen eines beidseitig offenen Glasrohres in ein halb mit Wasser gefülltes Glas. Das Glasrohr füllt sich innen (nahezu) und außen gleich hoch mit Wasser. Es bildet sich ein Gleichgewicht. Jede Füllungsänderung innen, außen oder in der Änderung der Rohr-Eintauchtiefe zeigt immer den gleichen Füllstand innen und außen.

**Leitsatz:** Alles in der Natur befindet sich in einem natürlichen Gleichgewicht.

Versuch: Man taucht das RG bis auf den Boden ein, der Füllstand innen und außen ist gleich. Man verschließt die obere Öffnung fest und hebt das Rohr an. Das Wasser entweicht nicht aus dem Innenrohr. Zum Anheben ist Energie notwendig. Entfernt man den Finger, so stellt sich das alte Gleichgewicht wieder ein.

**Leitsatz:** Um bestehende Gleichgewichte in einem System zu beeinflussen, der Austausch von Energie bzw. Masse mit der Umgebung notwendig.

**Leitsatz:** Überlässt man das veränderte Gleichgewicht sich selbst, so kehrt es unter Abgabe der zugeführten Energie (in angemessener Zeit) in das natürliche Gleichgewicht zurück.

Diese Gedankenabfolge lässt sich auf ein vollständig mit Wasser gefülltes RG übertragen, das man mit einem Kunststoff-Plättchen lose abdeckt und nach dem Umdrehen das Kunststoff-Plättchen loslässt. Das Plättchen fällt nicht ab, das Wasser fließt nicht heraus, weil keine Luft eindringen kann.

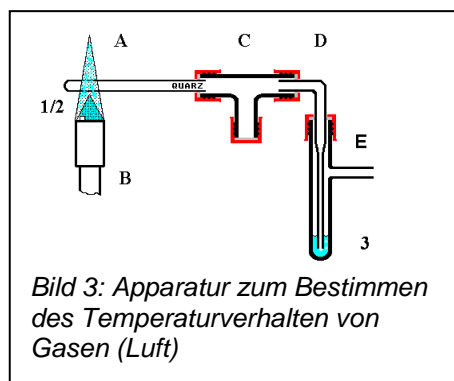
**Leitsatz:** Wo ein Stoff ist, kann kein anderer sein.

**Leitsatz:** Wo kein Stoff ist, muss einer hin. Es gibt keinen absolut leeren Raum.

### 3.1.1 Bestimmung des Volumenverhaltens beim Erhitzen von Gasen

Diese Leitsätze lassen sich auch zur Bestimmung der Wärmeenergie (Temperatur) verwenden.

#### Experiment (apparativer Anteil):



1. Apparaturteile bereitlegen und prüfen; auf dem Tisch liegend zusammenschrauben
2. Umdrehen und von hinten Federklammern und Vierkant-Stativrohr aufstecken, dann zurückdrehen und aufhängen
3. Leitungswasser mit Bromthymolblau grün färben
4. ein Drittel davon in die Gaswaschflasche geben
5. Dichtigkeit prüfen!

#### Inhaltliche Lernziele:

Gase dehnen sich beim Erwärmen aus. Beim Abkühlen ziehen sie sich zusammen.

#### Apparatives Lernziel:

Zwischen Reaktionsräume mit stark unterschiedlichen Verhalten gehört ein Puffervolumen. (hier: zur Verhinderung einer schlagartigen Wasserdampfexpansion beim Zurücksteigen in das Glühröhr.)

Die Umsetzung der Idee vom Gleichgewicht ist bei der Massenbestimmung von Stoffen durch Vergleich von Massen mit der Balkenwaage einsichtig. Hier besteht die Schwierigkeit für Schülerinnen und Schüler, dass für sie Luft, d. h. Gase im Allgemeinen kein Gewicht (Masse) besitzen. Im Gegenteil, von klein auf kennen sie Luftballons, die „fliegen“ können. Sehr wohl können die Schülerinnen und Schüler durch heftige Handbewegung die Trägheit von Luft spüren. Es ist übrigens die Trägheit, die den Schülerinnen und Schülern klar macht, worin der Unterschied zwischen Gewicht und Masse besteht, und dass man die Trägheit im Weltraum benutzt, um Massen zu bestimmen.

### 3.1.2 Bestimmung der Stoffeigenschaften von Luft

Zwar wissen Schülerinnen und Schüler aus dem Fernsehen, dass im Weltraum Schwerelosigkeit herrscht. Ebenso können sie sich vorstellen, dass Luft eine Masse besitzt, aber wiegen können sie sie nicht. Dieses Wissen ist nicht experimentell abgesichert und entspricht daher dem Erlernen der Muttersprache durch Nachahmung. Eine wissenschaftliche Arbeitsweise ist ihnen noch genau so fremd, wie dem Menschen des 16. Jahrhunderts, als Otto von Guericke die Luftpumpe erfand und damit einen nahezu luftleeren Raum erzeugte. Von den Begleiterscheinungen des luftleeren Raumes waren die Menschen damals derart fasziniert, dass Otto v. G. als Bürgermeister der reichsfreien Stadt Magdeburg seinen Schauversuch mit den „Magdeburger Halbkugeln“ dem Kaiser auf dem Reichstag zu Regensburg vorführen musste.

Schüler in dem Alter wissen nichts vom Auftrieb in der Luft, deshalb verblüfft sie das Wiegen eines leeren Kolbenprober mit eingeschobenem und herausgezogenem Stempel. Die Differenz sind 0 Gramm! Anders verhält sich die Differenzwägung, wenn der Kolbenprober mit einem Hahn verschlossen wird und dann ein Vakuum gezogen wird. Nun ist der Kolben im Ungleichgewicht mit der Natur. Es steckt Energie im System (leicht zu zeigen, siehe Leitsatz).

#### Versuch:

Kunststoff-Kolbenprober mit Dreiwegehahn verschließen

Dreiwegehahn allseitig sperren

Kolben mit Energie herausziehen und mit einem Metallstab vor dem Zurückschnellen sichern

Auf eine Waage stellen (Empfindlichkeit der Waage 0,01g)  
TARA- Einstellung der Waage betätigen bzw. TARA-Gewicht notieren  
Luft einströmen lassen  
Erneut wiegen → 60 mL Luft wiegen NETTO 0,07g bzw. BRUTTO-Gewicht notieren  
Gegebenfalls NETTO-Gewicht als Differenz von BRUTTO und TARA berechnen.  
Dichte von 1 Liter Luft selbstständig herausfinden lassen

Evtl. sind 3 Kunststoff-Kolbenprober zu benutzen, wenn die Waage nur 0,1g anzeigen kann. Der Versuch ist außerordentlich schnell in Schülerübungen durchzuführen. Die gewonnene Zeit kann in das selbstständige Entdecken des „Dreisatzes“ investiert werden. Erfahrungsgemäß haben Schülerinnen und Schüler keine Kenntnis, wie man die Masse eines Liters Luft berechnen kann, wenn man die Masse von 62 mL kennt. Hierbei lassen sich auch die im täglichen Leben oft benötigten Begriffe brutto, netto und tara einführen.

### 3.1.3 Bestimmung der Stoffeigenschaften von Erdgas

Eine Erweiterung und gleichzeitig der Übergang zur Tätigkeit mit gefährlichen Stoffen besteht darin, eine Vorgehensweise zu erdenken und dann natürlich auch durchzuführen, mit der man gefahrlos die Dichte von Erdgas bestimmen kann. Den Schülerinnen und Schülern ist automatisch klar, dass dabei keine wesentlichen Mengen Erdgas in den Klassenraum gelangen dürfen.

#### **Versuch:**

Vorgehen wie bei Luft, jedoch  
Genau besprechen, wie Erdgas eingefüllt werden muss, damit kein Erdgas entweichen kann  
Erneut wiegen → 60 mL Erdgas wiegen 0,04g  
Dichte von 1 Liter Erdgas selbstständig herausfinden lassen

Die Bestimmung kann gefahrlos mit Kohlenstoffdioxid wiederholt werden.

Es gibt Gase, die größere und kleinere Dichten als Luft besitzen. Diese sammeln sich je nach Dichte in geschlossenen Räumen unter der Zimmerdecke oder am Boden und können dort zu gefährlichen Ansammlungen führen, die bei Funkenbildung explodieren können. Hier sind immer wiederkehrende Zeitungsberichte von Wohnhauser Explosionen vorzustellen. Dennoch ist die Tätigkeit mit brennbaren Gasen in der Chemie und der Chemischen Industrie unverzichtbar, gerade weil bestehende Gleichgewichte verändert werden sollen (siehe unten: Experimente mit Wasserstoff).

## 3.2 Das anorganisch-chemische Gleichgewicht

Der Gedanke der Existenz von mathematisch formulierbarer, natürlicher Gleichgewichte wurde zuerst von Newton beim Studium von bewegten Massen geäußert. Er ist untergliedert in drei Prinzipien, dem Trägheitsprinzip, dem Aktionsprinzip und dem Reaktionsprinzip. Im Folgenden werden die drei Prinzipien auf das Fachgebiet der stofflichen Gleichgewichte umgesetzt.

### 1. Trägheitsprinzip:

Anorganische Stoffe, die sich lange Zeit unter gleichen Bedingungen berühren, verharren in ihrem chemischen Zustand, solange keine Energie zugeführt oder entzogen wird. Dieser Zustand gilt als chemisch neutral.

### 2. Aktionsprinzip:

Wirkt man von außen auf Stoffe mit Energieänderung ein, so ändert sich die Temperatur, die Verteilung oder die chemische Zusammensetzung.

### 3. Reaktionsprinzip:

Bilden sich in einem geschlossenen System neue Stoffe, dann ist ihre chemische Wirkung qualitativ entgegengesetzt und quantitativ gleich groß.

Diese Sätze sind nur eine allgemeinverständliche Formulierung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S,$$

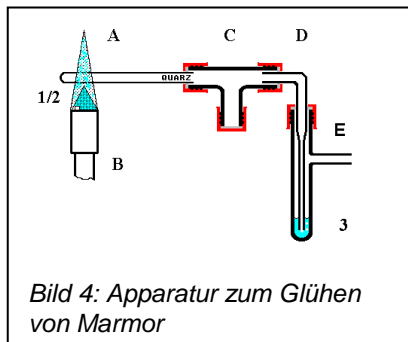
wobei  $\Delta H$  die Reaktionswärme (Energie) und  $T \cdot \Delta S$  die Verteilungsenergie bedeuten. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besitzt Gültigkeit für alle Stoffe und chemischen Reaktionen und beschreibt den Zustand eines natürlichen Gleichgewichtes der Stoffe mit ihrer Umgebung. Die drei Prinzipien sind nur eine schülerverständliche Form des Satzes vom natürlichen Gleichgewicht.

### 3.2.1 Herstellen von „Chemikalien“ am Beispiel Marmor

Herstellen von Chemikalien aus natürlichen Stoffen durch Zufuhr von Energie – am Beispiel des Kalkbrennens

**Vorwissen:** Stoffbegriff; Naturerkenntnis gewinnt man durch Beobachtung von Unterschieden; Stoffe dehnen sich beim Erwärmen aus. Zwischen Reaktionsräumen mit stark unterschiedlichen Reaktionsbedingungen gehört ein Reservevolumen. Umgang mit verdünnten Säuren und Laugen. Begriff Chemikalie, Entsorgung.

#### Experiment (apparativer Anteil):



1. Apparaturteile bereitlegen und prüfen; auf dem Tisch liegend zusammenschrauben
2. Umdrehen und von hinten Federklammern und Vierkant-Stativklammern aufstecken und aufhängen
3. Leitungswasser mit Bromthymolblau grün färben
4. ein Drittel davon in die Gaswaschflasche geben
5. Dichtigkeit prüfen!

#### Apparative Lernziele:

Umgang mit Apparaturen, Puffervolumen, Sicherheitsüberprüfung, Blindprobe, Umgang mit Chemikalien, Notwendigkeit der Benutzung von geschlossenen Apparaturen, Recycling.

#### Inhaltliche Lernziele:

Natürliches chemisches Gleichgewicht; Aktivierung und Verschiebung durch Zufuhr thermischer Energie; Entstehung neuer Stoffe („Gas mit sauren Eigenschaften“ Kohlenstoffdioxid; Feststoff mit alkalischen Eigenschaften, „gebrannter Kalk“; „gelöschter Kalk“; Kalkwasser), Rückführung in das ursprüngliches Gleichgewicht durch „Neutralisation“; Entsorgung; Störung von Gleichgewichten, Gefährdung durch Stoffe.

## 3.3 Das organisch-chemische Gleichgewicht

Anorganisch bedeutet ursprünglich „zum unbelebten Teil der Natur gehörend“, organisch - "zum belebten Teil der Natur gehörend". Leben stellt ein dynamisches Gleichgewicht dar, in der Regel ein „Fließgleichgewicht“.

Um den Zustand „Leben“ aufrecht zu erhalten, ist ein dauernder Austausch von Stoffen und Energie mit der Umgebung notwendig. Wenn Gleichgewichte die Natur prägen, so müssen die belebten Stoffe eine andere Art der Gleichgewichte darstellen. Auf Veränderungen reagiert das Lebewesen entweder langsam durch Anpassung oder schnell durch Vergiftung und Tod, d. h. Übergang in den anorganischen Zustand der Materie (Paracelsus um 1500 „Die Dosis macht das Gift“).

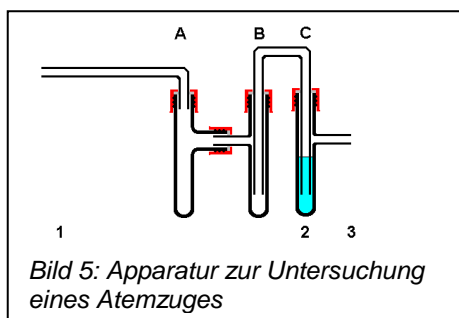
### 3.3.1 Untersuchung eines Atemzuges auf die Anwesenheit von Kohlenstoffdioxids

**Vorwissen:** Biologie Atmen; Raumluft muss Kohlenstoffdioxid enthalten; beim Kalkbrennen soll Kohlenstoffdioxid entstanden sein; Kohlenstoffdioxid ist eine „Chemikalie (Säure)“, beim Kalkbrennen wurde Kohlenstoffdioxid unbemerkt frei; gebrannter Kalk ist der Rückstand von Marmor beim Erhitzen, er



zeigt die Eigenschaft der Chemikalienklasse „Lauge“ und sollte mit dem Kohlenstoffdioxid wieder „Marmor“ bilden.

#### Experiment:



Aufbau wie beim Kalkbrennen 1 - 3

Reinigen des „Mundstück oder „Pufferbereich Mundstück“ „erfinden“

Funktion der Wasserfalle A und der Sicherheitswaschflasche mit Wasser prüfen

#### Lernziele für das sicherheitstechnische Denken:

Übernehmen von persönlicher Verantwortung;

Sichere und sachgerechte Tätigkeit mit Chemikalien;

Möglichkeiten des Recycling;

Abwägung des Restrisikos;

### 3.3.2 Chemie und Nachhaltigkeit

Anorganische Gleichgewichte sind statische Gleichgewichte, die energetisch stabil sind.

Biologische Gleichgewichte sind dynamische Fließ-Gleichgewichte, sie sind nur unter Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung aufrecht zu erhalten. Der Mensch hat sich im Laufe der Entwicklung an die anorganischen Stoffe seiner Umgebung gewöhnt. Beispiele sind der Salzgehalt des Wassers, die Reaktivität des Wassers, die Reaktivität des Kohlendioxids und des Sauerstoffgehaltes der Luft, usw.

Entsorgen heißt Stoffe in den natürlichen chemischen Zustand und die natürliche Konzentration zurückzuführen.

Die Gefährdung durch Giftigkeit ist abgestuft nach Mobilität (Aggregatzustand):

Unmittelbare Gefahr bei Gasen: Unbekannte und giftige Gase erfordern wegen der Atmung apparative Schutzmaßnahmen (z.B. dichte Apparatur, Abzug).

Mittelbare Gefahr bei Flüssigkeiten: Unbekannte und giftige Flüssigkeiten dürfen nicht angefasst werden. Sie erfordern wegen der Hautaufnahme persönliche Schutzausrüstung (z. B. Handschuhe, Schutzbrille).

Nachhaltige Gefahr bei Feststoffen: Unbekannte und giftige Feststoffe sind kein „Abfall“. Sie erfordern wegen der langfristigen Gefährdung zu nachhaltigen Schutzmaßnahmen (Sondermüll, Entsorgung, Recycling)

### 3.4 Aufgabe von chemischer Forschung und technischer Chemie

Der Mensch ist daran interessiert, zu wissen, wie die Natur funktioniert, er will sie verstehen. Wenn er das auf systematischem Wege herauszufinden versucht, nennt man das Forschung. Er macht das aber nicht nur aus „Spaß“, er versucht auch seine Erkenntnisse zur Erleichterung seines Lebens einzusetzen. Dazu wendet er die Erkenntnisse in der Technik an, um seine Lebensbedingungen zu ändern, mit dem Ziel sie zu „verbessern“.

### 3.4.1 Stickstoffdioxid - Darstellung, Untersuchung und Entsorgung

**Vorwissen:** geschlossenes System; natürliches Gleichgewicht; Erhitzen von Salzen (Kalkbrennen)

**Experiment (apparativer Anteil):**

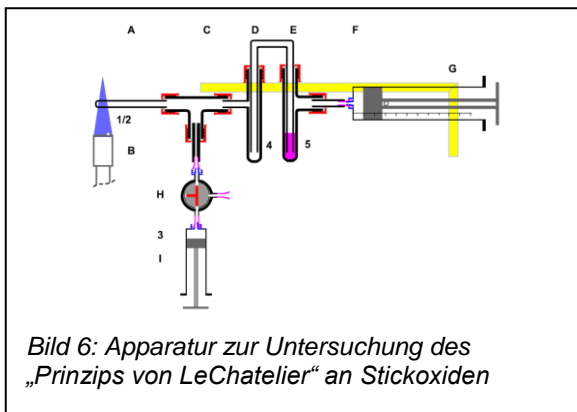


Bild 6: Apparatur zur Untersuchung des „Prinzips von LeChatelier“ an Stickoxiden

- A Quarz-Glührohr
- B T-Stück
- C Sicherheitswaschflasche
- D Gaswaschflasche
- E Luer-Kupplung
- F Kunststoff-Kolbenprober 50 mL
- G Luer-Kupplung
- H Kunststoff-Dreivegehahn
- I Kunststoff-Kolbenprober 10 mL
- K Gasbrenner

Edukte:  
 1/2 ca. 50 mg Bariumnitrat  
 4 Puffervolumen (leer)  
 5 ca. ca. 2 mL Harnstoff-Lösung (2mol/L)  
 Produkt:  
 3 ca. 3 - 4 mL Stickstoffdioxid/Sauerstoff

**Ziel und Zweck:** Analyse der Gefährdung: Stoffminimierung, geschlossenes System, Puffervolumen; Minimierung des Risikos; Entsorgung durch „Antagonisten“ Harnstoff

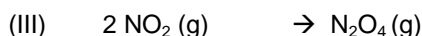
sichere und sachgerechte Tätigkeit mit Gefahrstoffen in der Forschung;

**Experiment** (Bild 6):

Apparaturteil A Darstellung eines gefährlichen Stoffes aus einem weitgehend ungefährlichen, Glührohr

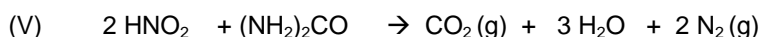


Apparaturteil B, G, H (H´ zwei Hähne, um beide Apparaturteile zu schließen), I Untersuchungseinheit für Gase



Apparaturteil C Puffervolumen; Sicherheitswaschflasche

Apparaturteil D Entsorgung, Gaswaschflasche



Apparaturteil E, F Reservevolumen; Kolbenprober

Das zwischenzeitlich gebildete Stickstofftetraoxid ist giftig (T, z. Zt. noch gültig: MAK (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) = 5 ppm), Stickstoffdioxid entsprechend. Damit sind die Schutzmaßnahmen der Schutzstufe III (geschlossenes System) erforderlich.

Nach der Untersuchung werden die Stickstoffoxide mit Harnstoff entsorgt. Man nutzt die Gleichgewichtsreaktion des Stickstoffs im Harnstoff (N<sup>III</sup>) zur Komproportionierung mit dem Stickstoff des Nitrits (N<sup>III</sup>) zu elementarem Stickstoff N<sub>2</sub>. Dabei bilden sich Wasser und Kohlenstoffdioxid. Nitrat in den auftretenden Portionen ist umweltgerecht mit dem Abwasser zu entsorgen. Bariumionen können als Sulfat entsorgt werden.

**Ausblick:** Die Entsorgung von Stickoxiden mit dem Abgaskatalysator

### 3.4.2 Erdgasentschwefelung

Übertragung des Entsorgungsverfahrens: Die Entsorgung von Schwefelwasserstoff aus Erdöl und Erdgas wird mit Schwefeldioxid zu Schwefel und Wasser entsorgt (CLAUS-Verfahren).

### 3.5 Herstellung und Identifikation einer unbekanntem Flüssigkeit

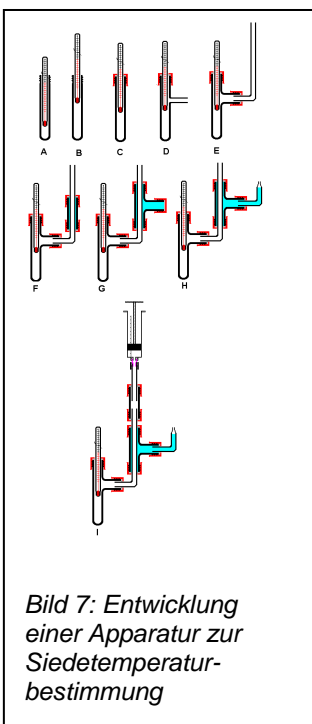
**Zielstellung:** Analytik. Man kann die Natur nur an Unterschieden erkennen. Will man Unterschiede im Labor untersuchen; so muss man natürliche Gleichgewichte verändern. Deshalb sind die Vorsichtsmaßnahmen für bestehende biologische Fließgleichgewichte bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen zu treffen.

**Vorwissen:** Alkohol ist ein Rauschmittel, Alkohole werden als Lösemittel verwendet; Information der Gefährdung durch den Hersteller einer Chemikalie, R- und S-Sätze; Tätigkeit mit bekannten Stoffen.

#### 3.5.1 Identifikation von Alkoholen

Name	Schmelztemperatur °C	Siedetemperatur °C	Dichte g/mL	d(20°C)	Brechungsindex n(D, 20°C)	Gefahrensymbol
Methanol	- 98	65	0,74		1,3288	T, F
Ethanol	- 117,8	78	0,81		1,3614	F
1-Propanol	- 126	97	0,80		1,3853	F
1-Butanol	- 89	117	0,81		1,3993	Xn
1-Pentanol	- 79	138	0,81		1,4117(D, 15 C)	Xn
2-Propanol	- 89	82	0,78		1,3776	F

Tabelle 1: Erarbeitung des Erkennens von Unterschieden zum Zweck der Analytik und der notwendigen Schutzmaßnahmen



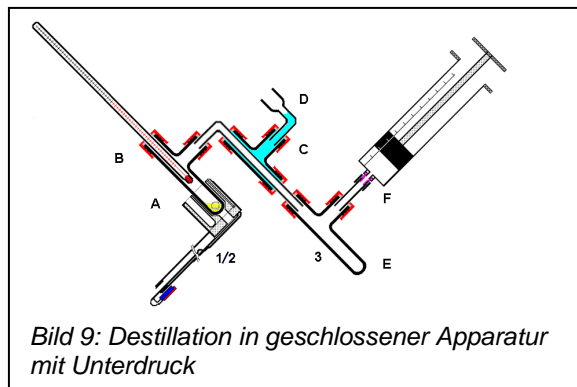
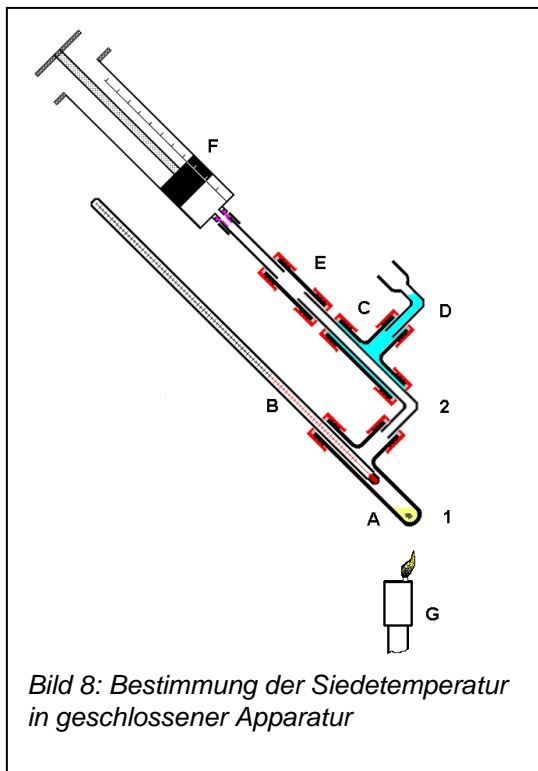
Nach der Feststellung, dass man die unterschiedlichen Schmelz- und Siedertemperaturen zur Identifikation von Stoffen nutzen kann, kann man das an der Stoffgruppe der Alkohole üben. Da hierbei auch ein Stoff mit dem Gefahrensymbol T enthalten ist, wird die Aufmerksamkeit auf die Tätigkeit mit Gefahrstoffen gelenkt. Schülerinnen und Schüler erkennen, dass besondere Sorgfalt geboten ist.

Zunächst stellt man anhand der Tabelle 1 fest, dass zum Zeitpunkt der Klasse 7 nur die Siedertemperaturen geeignet sind, um eine Identifikation im Schullabor zu ermöglichen. Dann entwickelt man eine Apparatur zur sicheren Bestimmung, d. h., dass Dämpfe nicht frei werden dürfen.

Um die Sensibilität der Schülerinnen und Schüler für Unvorhergesehenes zu erhöhen, kann man statt nur der primären Alkanole, tatsächlich aber 2-Propanol statt 1-Propanol ausgegeben. Man simuliert auf diese Weise das Auftreten eines unbekanntem Stoffes. Beim Versuch, die „falsche“ Siedetemperatur zuzuordnen, wird wichtig zu erkennen, dass man Versuche überprüfen muss. Nach Überprüfung der Literatur (Internet; Stoffdatenbanken) muss man letztlich als Naturwissenschaftler seine eigenen Ergebnisse kritisch hinterfragen. Wenn aber keine Fehler erkennbar sind, muss man zu seinen Ergebnissen stehen und dafür eine „neue“ naturwissenschaftliche Erklärung finden.

Es folgt die Konstruktion einer Apparatur, die geeignet sein soll, unter Luftdruckbedingungen in geschlossener Apparatur die Siedetemperatur zu bestimmen. Die zur Konstruktion einer sicheren Apparatur (Bild 7) aufgewendete Zeit lässt sich problemlos zurückgewinnen, da gleichzeitig die Prinzipien für die Konstruktion von Apparaturen für das Sieden unter

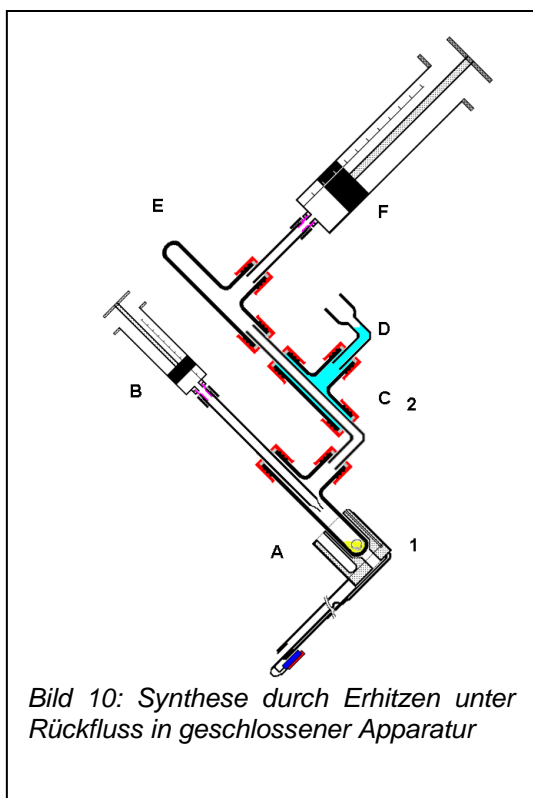
Rückfluss, die Destillation unter Normaldruck und die Destillation mit Unterdruck erarbeitet wird (s. Bild 7). Von diesen Apparaturen wird die Apparatur zur Destillation von Rotwein in Schülerübungen bereits in der Klasse 7 genutzt.



Gegenüberstellung der Apparaturen zur Siedetemperaturbestimmung (Bild 8) und der Rotweindestillation (Bild 9).

Die Apparaturen lassen sich durch Drehen um 180° um die Rohrachse des seitlichen Ansatzes von A entwickeln. So entsteht aus einem Rückflusskühler ein „Vorwärts-„Kühler mit stehendem Kühlwasser. Unter Umständen kann an dieser Stelle auch der Gegenstromkühler (LIEBIG-Kühler) eingeführt werden.

### 3.5.2 Präparation – Darstellung eines Esters aus Essigsäureanhydrid und Ethanol



**Ziel und Zweck:** Umsetzung der Kenntnisse aus der Tätigkeit mit unbekanntem Flüssigkeiten bei der Darstellung naturidentischer Aromastoffe

**Vorwissen:** Tätigkeit mit unbekanntem und gefährlichen Stoffen, hier Acetanhydrid und Alkohol; Unbekannter Stoff Ester

**Experiment:** Sieden unter Rückfluss in geschlossener Apparatur (Bild 10); Destillieren in geschlossener Apparatur; (Bild 8); Destillieren mit Unterdruck (Bild 8).

**Stofftrennung:** Ausschütteln mit verdünnter Lauge; Phasentrennung (Scheiden);

**Stoffidentifikation:** Siedetemperaturbestimmung der wasserunlöslichen Phase (Bild 8)

Essigsäureanhydrid + Ethanol → Essigsäureethylester + Wasser

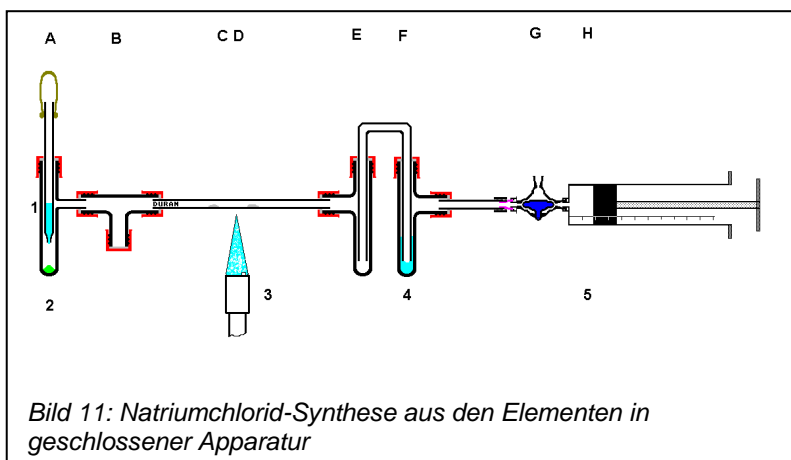
**Ergebnis:** Darstellung von Naturstoffen aus Chemikalien; Tätigkeit mit Gefahrstoffen; Identifikation von Stoffen durch Löslichkeit und Siedetemperatur;

**Ausblick:** naturidentische Stoffe; Entsorgung durch biologische Abbaubarkeit oder Überführung in abbaubare, bereits im natürlichen Gleichgewicht existierende Verbindungen

### 3.6 Chemische Bindung - Natriumchlorid-Synthese aus den Elementen – Darstellung, Umsetzung und Entsorgung

**Vorwissen:** Reaktionsräume unterschiedlichen Reaktionsverhaltens werden durch Puffervolumen getrennt.

**Experiment:**



A Gasentwickler  
 B Wasserfalle  
 C Reaktionsrohr (Borosilikatglas)  
 D Gasbrenner  
 E Restgas  
 F Sicherheitsflasche  
 G Reserve-Zugang  
 H Puffervolumen

1 1,5 mL halbkonz. Salzsäure  
 2 50 mg Calciumhypochlorit  
 3 50 mg Natrium  
 4 Natriumthiosulfat- Lösung  
 5 Luft/ Schwefeldioxid

Vor dem Experiment muss die Entsorgung geklärt sein. Man stoppt eine Reaktion mit dem chemischen Antagonisten. Entsorgungsmittel müssen im Überschuss angewendet werden können und dürfen damit nicht selbst schon Gefahrstoffe sein.

Vor dem Beladen einer Apparatur ist die leere Apparatur auf Dichtigkeit zu prüfen. Die Beladung der Apparatur geschieht in der Reihenfolge von fest über flüssig nach gasförmig und von ungefährlich nach gefährlich, zuletzt die giftigen Gase.

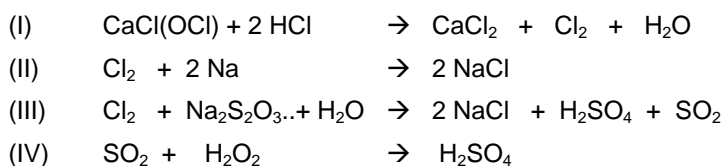
Um Reaktionsprozesse kontrolliert in Gang zu halten, werden exotherme Prozesse entgegen dem Gasstrom, endotherme mit dem Gasstrom erhitzt.

**Ziel:**

Durchführung eines stark exothermen Experiments mit Gefahrstoffen in geschlossener Apparatur einschließlich Entsorgung des giftigen Gases.

Der Abzug ist nicht Teil des Experimentes, sondern ein redundantes Sicherheitsmerkmal.

Ein chemischer Prozess soll so geführt werden, dass beim Eintreten eines unvorgesehenen Ereignisses noch „eine Hand zum Eingreifen“ zur Verfügung steht.



### 3.7 Untersuchung von Gasen

Im Anschluss an die Bestimmung der Dichte von Luft bieten sich noch andere Gase an, wobei man schnell mit der Tätigkeit mit Gefahrstoffen konfrontiert wird. Die Bestimmung der Dichten von Stickstoff, Sauerstoff oder Kohlenstoffdioxid lässt das Erlernen der Handhabung von Druckgasflaschen und Reduzierventilen notwendig werden. Beim Gebrauch von Erdgas sind die Bestimmungen für Tätigkeiten mit brennbaren Gasen zu beachten.

In der Stoffklasse der brennbaren Gase ist der Wasserstoff von besonderem Interesse. Während Schülerinnen und Schüler im Bereich des Anfangsunterrichts von der Knallgas-Reaktion besonders fasziniert sind, ergeben sich für den wissenschaftlich-technischen Unterricht Möglichkeiten zum Einstieg in die quantitative Chemie und die technische Chemie der Metallerstellung aus Metalloxiden.

**Vorwissen:** Das molare Volumen  $V_m$  eines idealen Gases bei Zimmertemperatur  $t = 20^\circ\text{C}$  beträgt  $V_m(T = 293,15\text{K}) \sim 24,055 \text{ L/mol}$ .

Die molare Masse von Magnesium beträgt (Magnesium) = 24,3050 g/mol.  
1 Mol Magnesium setzt 1 Mol Wasserstoff  $\text{H}_2$  frei.

1 mm Magnesiumband der meisten Hersteller besitzt in etwa die Masse  $m = 1 \text{ mg}$ , nötigenfalls muss man die Masse von 1 m Magnesiumband ermitteln und umrechnen.

Anmerkung: Molares Normalvolumen für  $T = 273,15 \text{ K}$ ;  $p = 101325 \text{ Pa}$ ;  
 $V_m = RT/p = 22,414 \pm 0,00019 \text{ L/mol}$ ;

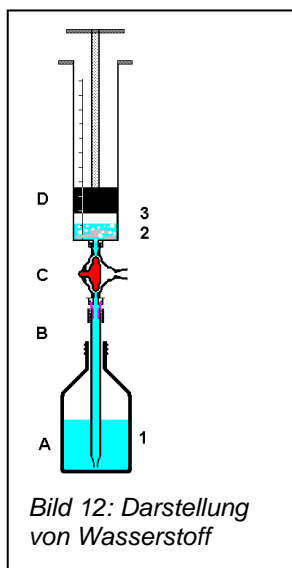


Bild 12: Darstellung von Wasserstoff

Wegen dieser zufälligen Übereinstimmung der Maßzahlen, der Stöchiometrie der Umsetzung und des Zahlwortes milli ergibt sich für die Länge  $l = 1 \text{ mm}$  Magnesiumband  $\rightarrow m = 1 \text{ mg}$  Magnesium  $\rightarrow V = 1 \text{ mL}$  Wasserstoff.

Gibt man die Dichte von Wasserstoff vor ( $d = 0,084 \text{ g/mL}$ ), so ergibt sich, dass 24 L Wasserstoff etwa die Masse von  $m(\text{H}_2) = 2 \text{ g}$  besitzen.

Da in der Regel zu diesem Zeitpunkt des Unterrichts die Gasgesetze und der Satz von Avogadro fehlen, kann an dieser Stelle nur die entsprechende Mitteilung weiterhelfen.

**Experiment:** Darstellung von Wasserstoff aus Magnesiumband und verdünnter Salzsäure; Tätigkeit mit brennbarem Gas; Explosionsgrenzen; evtl. Einführung der quantitativen Umsetzung bis hin zum Mol-Begriff.

Der so dargestellte Wasserstoff kann in Kleinfilm Dosen aus Kunststoff verbrannt werden. Dazu müssen die Filmdosen mit einem Loch in der Mitte des Bodens und einem seitlichen Loch knapp unter dem Deckel vorbereitet werden. Vorsichtig mit Kienspan zünden. Je nach Menge des eingefüllten Wasserstoffs und Durchmischungsverhältnisse explodiert das Gas sofort oder verzögert.

#### 3.7.1 Wasserstoff-Entwicklung zur Reduktion von Metalloxiden Wasserstoff-Entwicklung, Knallgasprobe

Wie Apparatur 3.4.6 (jedoch ohne Reaktionsrohr)

#### 3.7.2 Wasserstoff reduziert Metalloxide

Die Darstellung eines gefährlichen Stoffes darf kein Selbstzweck sein. Über ein Verbindungsstück wird ein Reaktionsrohr, gefüllt mit einem Metalloxid (z.B. Kupferoxid, Eisenoxid) in den Gasweg gebracht. Dahinter befindet sich eine Gasableitungsspitze mit Kupferwolle als Rückschlagsicherung nach Davy. Hieran lassen sich apparativ-technische Lernziele (Rückschlagsicherung, Knallgasprobe) sowie inhaltlich-chemische Lernziele (Reduktion, Oxidation, Metallurgische Prozesse der Metallgewinnung, pyrophores Eisen) erlernen.

**Reaktion:**



## Entsorgung:

Recycling des Kupfers mit Luftsauerstoff

Verbrauchte Säure neutralisieren und ins Abwasser geben.

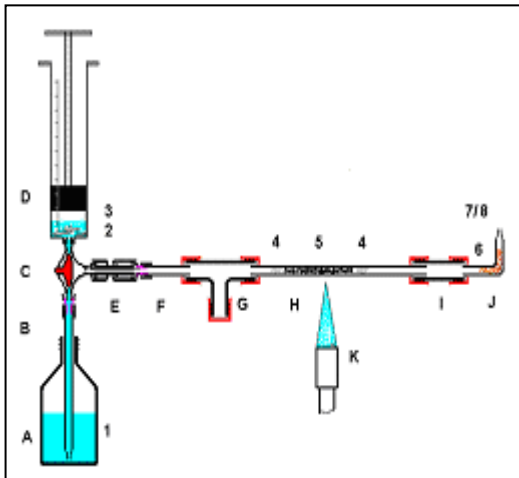


Abb. 13: Darstellung von Wasserstoff aus Magnesium und Essigsäure mit anschließender Reduktion von Kupferoxid

### 3.7.3 Quantitative Bestimmung des Sauerstoffgehaltes der Luft; Reduktion mit Wasserstoff führt zum Formelhinweis für Wasser

Mit einer klassischen Kolbenprober-Apparatur ist es möglich, den Sauerstoffanteil der Luft zu bestimmen. Hat man aber noch Wasserstoff für Schülerübungen zur Verfügung, kann man das gebildete Kupferoxid gleich wieder reduzieren.

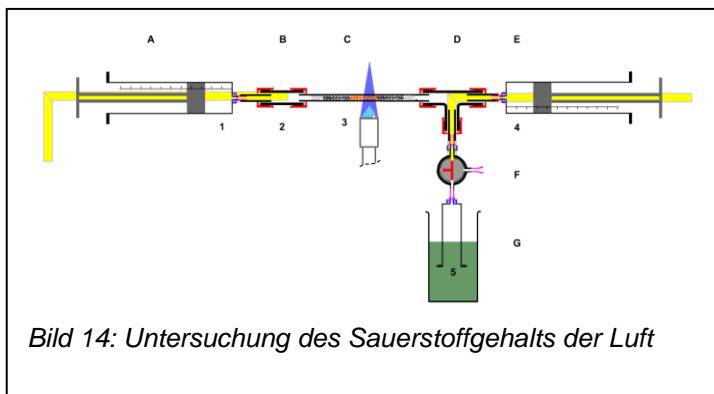


Bild 14: Untersuchung des Sauerstoffgehalts der Luft

**Experiment:** Für die quantitativen Betrachtungen der Gasvolumen benötigt man eine Tauchung, um die Gasvolumina drucklos bestimmen zu können. In das Reaktionsrohr C aus Quarz gibt man Kupferspäne 3, die mit Quarzwolle-Bäuschen rechts und links fixiert werden. Dann stellt man den Dreiwegehahn F so, dass die Kolbenprober A, E mit der Außenluft und der Tauchung G verbunden sind und saugt langsam mit dem Kolbenprober insgesamt 50 mL Luft ein. Nun sperrt man mit dem Dreiwegehahn

die Tauchung ab. Während man nun die Kupferspäne fortschreitend von links nach rechts erhitzt, leitet man die Luft aus den Kolbenprober mehrfach darüber.

**Beobachtung:** Anfangs färben sich die Kupferspäne schnell schwarz, gegen Ende laufen sie nur noch leicht lilafarben an. Nach dem Abkühlen der Apparatur befindet sich wenig Gas in der Apparatur. Um das Gasvolumen exakt und druckfrei zu bestimmen, stellt man die Kolbenprober auf die erwarteten 40 mL ein, dann verbindet man die Tauchung durch Drehen des Dreiwegehahns, ohne dass eine Öffnung zur Außenluft entsteht, mit dem Reaktionsraum. Mit einem Kolbenprober stellt man die Oberfläche der Tauchung innen und außen gleich hoch ein und liest das verbliebene Gasvolumen ab. Es fehlen ca. 20% Gas.

Nun entleert man das Gas des Reaktionsraumes über den Dreiwegehahn F und füllt umgekehrt hierüber 50 mL Wasserstoff in die Kolbenprober A, E ein. Beim Erhitzen des gebildeten Kupferoxids mit dem Wasserstoff entsteht ein leichter Beschlag im Verbindungsstück B. Außerdem lässt sich nach dem Abkühlen und drucklosen Messen feststellen, dass ca. 40% des Wasserstoffs verbraucht wurden. Daraus ergibt sich, dass 50 mL ca. 10 mL Sauerstoff enthalten, die das Kupfer zu Kupferoxid oxidieren, dagegen 20 mL Wasserstoff benötigt werden, um das gebildete Kupferoxid wieder unter Bildung von Wasser zu reduzieren. Damit ergibt sich für die Bildung von Wasser ein Verhältnis der Gasvolumina Wasserstoff : Sauerstoff von 2:1. Das kann dann mit dem Knallgaseudiometer nachgeprüft werden.

### 3.7.4 Einstellung des Boudouard-Gleichgewichts

Mit einer erweiterten Kolbenprober-Apparatur ist auch möglich, kompliziertere Analysen von Gasen durchzuführen. Die unten abgebildete Apparatur dient zur quantitativen Bestimmung des Boudouard-Gleichgewichts.  $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$

Hierzu wird Kohlenstoffdioxid mit Kohlenstoff (Industriediamant) mit der rauschenden Flamme der Gasbrenner im Quarzrohr bei ca. 650°C umgesetzt. Dabei bildet sich ein Gemisch aus Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid. Aus der Volumenzunahme des Kohlenstoffmonoxids und der Massenverringerng des Kohlenstoffs kann man auf die Zusammensetzung des Gemisches schließen.



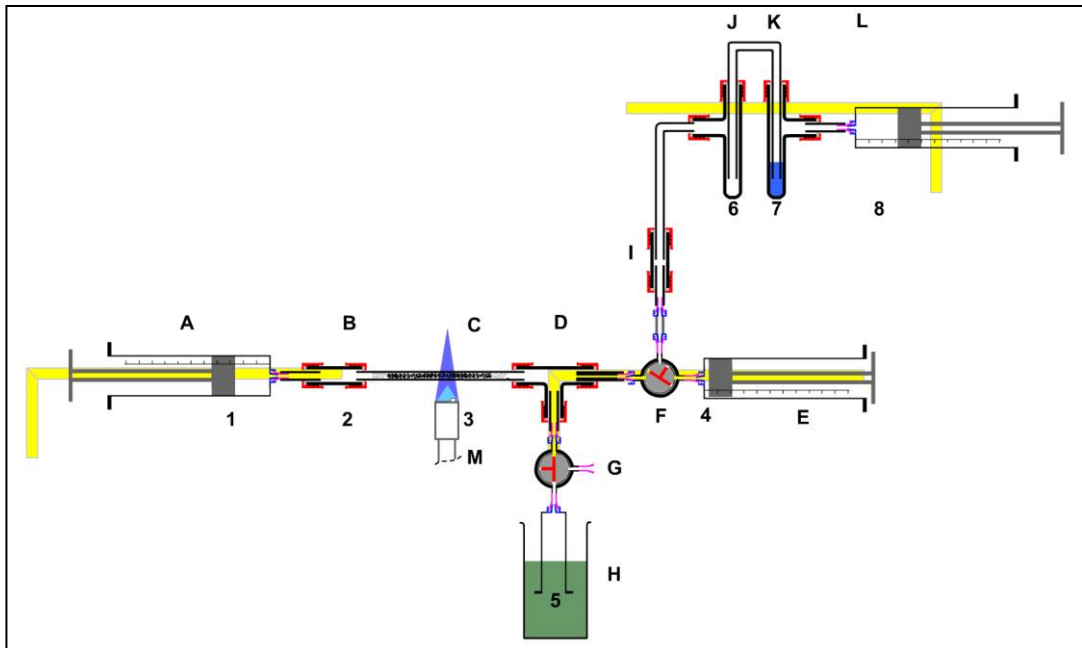


Bild 15 : Untersuchung des Boudouard-Gleichgewichts

Anschließend wäscht man mit einer Waschflaschenkombination J, K, die mit Kalilauge gefüllt ist, das Kohlenstoffdioxid aus. Das verbleibende Volumen Kohlenstoffmonoxid sollte doppelt so groß sein wie die Volumenzunahme. Das Restgas kann auf Brennbarkeit (leuchtend, hellblaue Flamme) oder auf Reduktionseigenschaften mit ammonalkalischer Silbernitratlösung untersucht werden. Die Entsorgung des Kohlenstoffmonoxids ist durch direktes Verbrennen oder durch Einblasen in den Luftschacht eines brennenden Gasbrenners möglich.

### 3.7.5 Der Ammoniaksspringbrunnen

Darstellung von Ammoniak aus Ammoniumchlorid mit Natriumhydroxid und einem Tropfen Wasser. Nachweis der alkalischen Eigenschaften der Lösung und der großen Wasserlöslichkeit.

**Experiment:** Die trockenen (!! ) Glasteile werden gemäß Abbildung bereitgelegt. Die Schraubkappen werden lose aufgeschraubt. Die Glasrohre werden durch die Dichtungen gesteckt, anschließend werden die Schraubkappen fest verschraubt.

Ein Becherglas ( $V = 400 \text{ mL}$ , weit) wird mit Leitungswasser und mit Indikator (Bromthymolblau) versetzt.

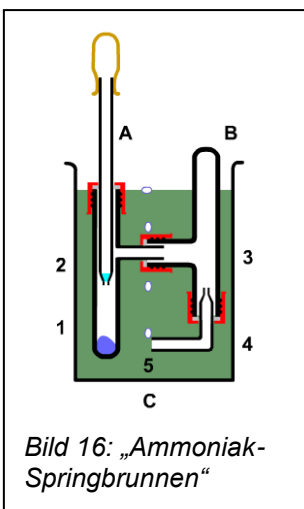


Bild 16: „Ammoniak-Springbrunnen“

**Durchführung:** Die Apparatur wird in das Becherglas gestellt und auf Dichtigkeit geprüft. Es darf kein Wasser in die Apparatur eindringen.

In das Reaktionsgefäß A wird jeweils eine etwa erbsengroße Portion Ammoniumchlorid mit der gleichen Menge fein gepulvertem Natriumhydroxid gegeben und vermischt.

In dem Tropfer nimmt man einen kleinen (!! ) Tropfen Wasser auf.

Nach dem Verschrauben setzt man die Apparatur wieder in das Gefäß mit Wasser und hält Reagenzien (hier: Essigsäure) bereit, um Neutralisieren zu können.

**Beobachtung:** Nach dem Zutropfen des Wassers zum Salzgemisch setzt spontan Gasentwicklung ein, die den Indikator umschlagen lässt.

Man neutralisiert die beim Austreten des Gases umgeschlagene Lösung mit verdünnter Essigsäure.

Gegen Ende der Gasentwicklung dringt langsam Wasser in die Apparatur ein.

**Entsorgung:** Die Lösungen werden im Becherglas gesammelt und neutralisiert. Die neutralisierte Lösung kann ins Abwasser gegeben werden.



Ziel des Chemieunterrichts an allgemeinbildenden Schulen ist das Erlernen der sicheren und sachgerechten Tätigkeiten mit Stoffen, insbesondere mit Gefahrstoffen.

Die RISU-NRW verlangt ab der Schutzstufe III das Arbeiten in geschlossenen Apparaturen oder unter dem Abzug.

## HMTC - Halbmikrotechnik Chemie

System Dr. Häusler

Stoffminimierung  1 - 2 mmol	Weniger Risiko Weniger Kosten für Einkauf Lagerung Entsorgung
Kleinere Apparaturen	Weniger Bruchgefahr durch biegetolerante Dichtungen und Schraubgewinde
Zeitgemäße Verbindungstechnik	Weniger Verletzungsgefahr durch PTFE/Silikondichtungen
Angepasste Befestigungstechnik	Schneller Versuchsaufbau durch Federklammern
Bekannte Arbeitstechnik	Kein Umlernen durch Verwendung klassischer Geräte
Geschlossenen Apparaturen: sicher und  sachgerecht	Sicheres Arbeiten Darstellung, Umsetzung und Entsorgung in geschlossener Apparatur

Halbmikrotechnik Chemie ist  
geeignet für Lehrerdemonstration und Schülerübung

Das Fachgebiet Chemie befasst sich mit Stoffen, ihren Eigenschaften und den Stoffumwandlungen. Um die Umsetzungen von Stoffen gefahrlos für den Experimentierenden zu gestalten, ist eine durchdachte Experimentiertechnik nötig.

### **Ausgezeichnet mit dem Gefahrstoffschutzpreis 2005**

Mit der Halbmikrotechnik nach Dr. Häusler können chemische Experimente mit Stoffportionen im Bereich von Millimol in geschlossenen Systemen durchgeführt werden und Erkenntnisse im sicheren und sachgerechten Umgang mit Stoffen gewonnen werden.

## **HMTC Halbmikrotechnik Chemie GmbH**

**Dr. Klaus-G. Häusler**

**Eickenbecker Str. 7c**

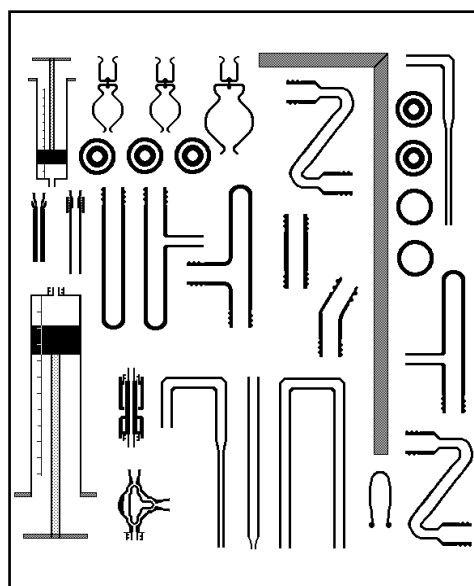
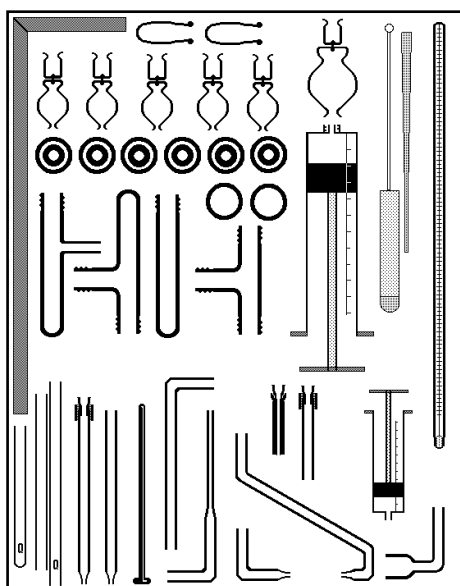
**D-48 317 Drensteinfurt**

**FON: 0 25 38 / 9 51 92**

**FAX: 0 25 38 / 9 51 93**

**info@halbmikrotechnik.de**

**www.halbmikrotechnik.de**



**Basis -Set**

**248,00 €**

**Ausbau -Set**

**222,00 €**

**Alu-Vierkantmuffe je Set 13,10 €**

**Handbuch**

**16,70 €**

**zzgl. Mehrwertsteuer u. Porto**

**Stand 1.3.2015**

**Es ist möglich, an die Schuladresse einen Musterkasten zu für vier Wochen zur Ansicht bekommen.**