

Chemie

für Sehbehinderte und Blinde

am Beispiel der Einführung der

Organischen Chemie

von

Holger Ruhrmann

2006

Vorwort	5
1 Allgemeine Betrachtungen zu den Behinderungsformen	8
1.1 <i>Zur Geschichte der Blinden und Sehbehindertenpädagogik in Europa.....</i>	8
1.2 <i>Blind sein - Was heißt das eigentlich?</i>	13
1.3 <i>Allgemeine didaktische und methodische Betrachtungen</i>	16
1.4 <i>Die Braille-Schrift.....</i>	24
1.5 <i>Hilfsmittel zur Erstellung und Erfahrung taktiler Medien.....</i>	28
2 Der Chemieunterricht der gymnasialen Oberstufe in Blindenschulen	32
2.1 <i>Die Carl-Strehl-Schule in Marburg</i>	32
2.2 <i>Die Lerngruppe</i>	36
3 Hilfsmittel zur Umsetzung des Chemieunterrichts in Blindenschulen	38
3.1 <i>Der computergestützte Unterricht.....</i>	38
3.2 <i>LiTeX – Eine Formelvorlage für MS-Word™.....</i>	47
4 Spezielle Hilfsmittel für Blinde im Chemieunterricht	60
4.1 <i>Die Chemieschrift auf Basis des Braille-Schriftsatzes.....</i>	60
4.2 <i>Das Optophon™ und der ColorTest™</i>	72
5 Neue didaktische und methodische Konzepte	74
5.1 <i>Ein Molekülmodell für blinde und sehbehinderte Schüler.....</i>	74
5.2 <i>Das Periodensystem der Elemente (PSE)</i>	89
6 Eine Einführung in die Organische Chemie	97
6.1 <i>Die Organische Chemie der gymnasialen Oberstufe in 11/2.....</i>	98
6.2 <i>Der wissenschaftsorientierte Ansatz</i>	100
6.3 <i>Der phänomenologische Ansatz.....</i>	101
6.4 <i>Einführung in die Organische Chemie für Blinde und Sehbehinderte.....</i>	101
7 Erste Stunde: Historische Entwicklung der Organischen Chemie.....	103
7.1 <i>Der Unterrichtsentwurf der ersten Stunde</i>	104
7.2 <i>Didaktische und methodische Betrachtung der ersten Stunde</i>	109
8 Zweite Stunde: Die Chemie der Kohlenstoffverbindungen.....	114
8.1 <i>Der Unterrichtsentwurf der zweiten Stunde.....</i>	114
8.2 <i>Didaktische und methodische Betrachtung der zweiten Stunde.....</i>	121

9	Dritte Stunde: Die Qualitative Elementaranalyse.....	126
9.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der dritten Stunde</i>	<i>127</i>
9.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der dritten Stunde</i>	<i>132</i>
10	Vierte Stunde: Knallgasreaktion und strukturelle Betrachtungen	138
10.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der sechsten Stunde</i>	<i>139</i>
10.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der vierten Stunde.....</i>	<i>146</i>
11	Fächerübergreifender Unterricht - Chance oder unnötiges Laster?	152
12	Fünfte Stunde: Einführung der Alkane - IUPAC-Nomenklatur	166
12.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der fünfte Stunde.....</i>	<i>167</i>
12.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der fünften Stunde.....</i>	<i>173</i>
13	Sechste Stunde: Wichtige physikalische Eigenschaften von Alkanen	177
13.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der sechsten Stunde</i>	<i>178</i>
13.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der sechsten Stunde</i>	<i>185</i>
14	Siebte Stunde: Quantitative Analyse - Die Gasmolwaage	189
14.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der siebten Stunde</i>	<i>190</i>
14.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der siebten Stunde</i>	<i>197</i>
15	Achte Stunde: Die Verbrennungsanalyse mal anders	201
15.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der achten Stunde</i>	<i>202</i>
15.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der achten Stunde</i>	<i>207</i>
16	Zur praktischen Durchführung des Unterrichtsentwurfs.....	212
17	Neunte Stunde: Die Gaschromatographie	214
17.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der neunten Stunde</i>	<i>215</i>
17.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der neunten Stunde</i>	<i>220</i>
18	Zehnte Stunde: Auf den Spuren von Sherlock Holmes	224
18.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der zehnten Stunde.....</i>	<i>224</i>
18.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der zehnten Stunde.....</i>	<i>228</i>
19	Elfte Stunde: Einführung der Isomerie am Beispiel der Alkane	231
19.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der elften Stunde.....</i>	<i>232</i>
19.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der elften Stunde.....</i>	<i>238</i>

20	Zwölfte Stunde: Die Stereoisomerie - Eine Herausforderung	242
20.1	<i>Der Unterrichtsentwurf der zwölften Stunde</i>	243
20.2	<i>Didaktische und methodische Betrachtung der zwölften Stunde</i>	251
	Anhang	255
21	Versuche und Demonstrationen.....	255
21.1	<i>Erste Stunde: Die Demonstrationen 1 und 2.....</i>	255
21.2	<i>Zweite Stunde: Der Versuch 1 und der Alternativ-Versuch 1</i>	261
21.3	<i>Dritte Stunde: Die Versuche 2, 3 a) und b).....</i>	267
21.4	<i>Vierte Stunde: Der Versuch 4 und die Demonstration 3 und 4.....</i>	274
21.5	<i>Fächerübergreifender Unterricht: Die Demonstration 5</i>	280
21.6	<i>Fünfte Stunde: Die Demonstration 6</i>	284
21.7	<i>Sechste Stunde: Die Versuche 5 und 6 und die Demonstration 7</i>	285
21.8	<i>Siebte Stunde: Der Versuch 7.....</i>	291
21.9	<i>Achte Stunde: Der Versuch 8 und Alternativ-Versuch 2.....</i>	297
21.10	<i>Neunte und zehnte Stunde: Der Versuch 9 (Teil 1 und 2).....</i>	303
21.11	<i>Elfte Stunde: Der Versuch 10 und die Demonstration 8.....</i>	309
21.12	<i>Zwölfte Stunde: Die Demonstration 9.....</i>	314
22	Drehbuch zum Hörspiel „Die Neuorientierung der Chemie“	316
23	Louis Braille und die Entwicklung der Blindenschrift	324
24	Das Braille-System in der deutschen Blindenvollschrift	329
25	Das Periodensystem der Elemente in <i>LiTeX</i> (Kurzform)	330
26	Konzept eines neuen Periodensystems für sehgeschädigte Schüler.....	331
	Literaturverzeichnis.....	332

Vorwort

Während meiner naturwissenschaftlich gerichteten Lehrerbildung an der *Philipps-Universität Marburg* in den Fächern Chemie und Mathematik, kam ich in den letzten Semestern besonders im Fach Chemie immer wieder auf neue Ideen in der fachdidaktischen Gestaltung dieses Unterrichtsfaches. Das sehr straff gehaltene Studium der Chemie in der Grundstudiumsphase, welche anfangs durch die Einführungsvorlesung und Seminare über verschiedene chemische Fachgebiete, später durch das Anorganisch-Chemische Grundpraktikum für Lehramtskandidaten bestimmt wird, lockert nach erfolgreichem Bestehen der Zwischenprüfung mit der Zeit mehr und mehr auf und bildet im Hauptstudium endlich den gewünschten Ausgleich zum doch äußerst theorielastigen Fach Mathematik. Spätestens bei Bestreiten der Seminare und Praktika im Hauptstudium wird man angehalten, sich mit zunehmendem Maße selbständig in der Materie zu bewegen und zurechtzufinden. Einerseits ist man dabei durch das von *Dr. Philipp Reiß* neu konzipierte Organisch-Chemische Grundpraktikum für Lehramtskandidaten, indem ich in den letzten Jahren meinen jüngeren Kommilitonen als Praktikumsassistent mit Rat und Tat zur Seite stand, im Hinblick auf den späteren Lehrerberuf gezwungen, eigenständig nach Versuchen zu recherchieren, um diese dann in Nutzen und Praktikabilität im Unterricht zu untersuchen. Zwei Experimentalvorträge, welche ich meinerseits zu den Themen „*Chemie der Zitrone*“ und „*Chemie und Licht*“ zum Besten geben durfte, bringen anschließend weitere Erkenntnisse und formen die Lehramtsstudierenden in Methodik und Didaktik, indem das freie Reden vor dem Publikum geschult wird. Des Weiteren lehrte mich das zweite Schulpraktikum, welches in Marburg unter dem Namen „*Schulpraktische Studien Teil 2*“ fachspezifisch in einem Fachgebiet absolviert wird, den Umgang mit einer Lerngruppe am Standort Steinmühle in Marburg-Cappel. Zudem erfuhr ich dabei die organisatorischen Probleme bei der Vorbereitung und Durchführung des Unterrichts in meinem Wahlfach Chemie und eignete mir viele Werkzeuge zur reibungslosen Realisierung desselben an. Ein Schülerworkshop des Fachbereichs Chemie an der Universität Marburg brachte mich auf die Idee, die Besonderheiten blinder und sehbehinderter Schüler in einem experimentgestützten Chemieunterricht zu studieren. Zu diesem frühen Zeitpunkt konnte ich jedoch noch nicht ahnen, dass mir dieses Interesse jemals für ein fachdidaktisches Thema zu Gute kommen könnte. Der mir vorgegebene Arbeitstitel war „*Chemie der Sinne*“, ein doch sehr groß gefasstes Thema zu dem man wirklich viel Chemie in Theorie und Praxis hätte beleuchten können. Doch von meinem Prüfer wurden mir die Zügel relativ locker gelassen, sodass ich zwar die Vorgaben und Wünsche praxisbezogener Fachdidaktik seitens Herrn *Dr. Reiß* erfüllte, mir meine Spezialisierung allerdings im Grunde frei auswählen durfte. Für diese Arbeit bekam ich dann von Herrn *Dr. Reiß* das Thema „*Chemie für*

Sehbehinderte und Blinde am Beispiel der Einführung der Organischen Chemie“, was in mir persönlich Freude aufgrund meines oben bereits erwähnten Interesses an der Blinden- und Sehbehindertenpädagogik weckte. Der Nachteil dieser Themenwahl, wenn man ihn wirklich als solchen bezeichnen kann, war der, dass recht wenig fachspezifische Literatur, geschweige denn ganze Fachbücher direkt über diese Thematik verfasst wurden. Man war also auf die Hilfe von speziellen blinden- und sehbehindertenpädagogischen Institutionen angewiesen, welche sich mit dieser Materie auseinandersetzten, um dadurch geeignete Lösungsvorschläge für den Chemieunterricht zu erfahren. Zu diesen Einrichtungen möchte ich jedoch erst an gegebener Stelle weitere Worte verlieren.

Auf meiner Recherche mussten demnach viele Versuche in Eigenständigkeit unternommen werden, um einen angepassten Chemieunterricht für sehgeschädigte Schüler am Beispiel der Einführung der Organischen Chemie zu entwickeln. Zudem konsultierte ich Fachlehrer der Chemie, welche schon auf eine langjährige Erfahrung im Umgang mit sehbehinderten und blinden Schülern zurückgreifen konnten. Viele Freunde und Bekannte warnten mich während der Erarbeitungsphase davor, dass blinde Menschen doch keinen richtigen Chemieunterricht haben könnten, da es ihnen z.B. verwehrt wäre, Phänomene während einer praktischen Unterrichtsphase visuell zu erfahren. Einige Kommilitonen schlugen auch eine Orientierung in eine andere Richtung vor, weit weg von meinem ausgewählten blindenpädagogischen Standpunkt. Natürlich wäre es einfacher gewesen, Versuche zum Thema Elektrochemie für den gymnasialen Unterricht in der Oberstufe didaktisch zu optimieren oder die Zuckerchemie in ihren Einzelheiten auf wissenschaftlicher Basis zu untersuchen, doch es stand für mich von der ersten Minute an immer der Nutzen einer solchen Arbeit für mich selbst und für die Allgemeinheit im Vordergrund. Diese doch schon sehr abgegrasteten Themen findet man wie viele andere klassische Themenkomplexe in jedem Schulbuch und die Eigenleistung und Kreativität dieser Themen konvergiert mit steigender Zahl von Arbeiten zur gleichen Thematik gegen Null. Ich war von der ersten Minute an glücklich darüber, ein Thema vorgegeben bekommen zu haben, mit dem ich wachsen konnte. Ein Thema wo ich nachher sagen konnte, ich hab etwas geschaffen, was noch nie vorher da war, ein Thema an dem es sich später zu messen galt. Daher war es mir wichtig eine Arbeit zu schreiben, bei der man sich als Leser die Eigenkreativität und allgemein die Eigenleistung des Autors vor Augen führen konnte. Ich selbst war bei Beendigung dieser Arbeit stolz darauf, etwas völlig Neues in Angriff genommen zu haben, was bisher in den wenigsten pädagogischen Fachliteraturen Erwähnung fand. Sehbehinderte und blinde Schüler sollten im naturwissenschaftlichen Unterricht, unterstützt durch diesen Praxisleitfaden, individuell gefördert werden. Außerdem ist es mir ein großes Anliegen, Schüler mit einer Sehschädigung am aktiven Leben teilhaben

zu lassen und nicht nur in einem passiven Abhängigkeitsgefüge zwischen ihnen und ihren sehenden Mitmenschen zu stehen. Integration war während der gesamten Arbeit das große Ziel, auf das ich versucht habe, strebsam hinzuarbeiten. Die Zusammenführung sehgeschädigter und nicht-sehgeschädigter Menschen stellte somit eine befriedigende Anforderung an mich. Ich ging mit der Motivation an die Sache, dass man im Nachhinein etwas mit meiner Arbeit anfangen konnte und sie als unerfahrener Lehrer definitiv für den Unterricht blinder und sehbehinderter Schüler nutzen zu können. So sollten interessierte Leser wie etwa Chemielehrer mit meiner Arbeit die Möglichkeit erhalten, ausgehend von meinen Gedanken eigene Problemlösestrategien im Umgang mit sehgeschädigten Schülern zu schaffen. Neben diesen integrativen Zielsetzungen hoffte ich, durch ein gesteigertes Interesse der sehbehinderten und blinden Schüler, den ein oder anderen vielleicht sogar zu einem Studium an der *Philipps-Universität Marburg* bewegen zu können. Wenn ich das mit dieser Arbeit im Nachhinein nicht schaffen sollte, dann möchte ich wenigstens den sehgeschädigten Schülern die Möglichkeit geboten haben, das Alltagsgeschehen durch chemische Sichtweisen besser analysieren und interpretieren zu können. Zum anderen sollten alle Leser, welche nicht unmittelbar von einer Sehschädigung betroffen sind, die gewisse Toleranz gegenüber Sehgeschädigten aufbringen, um durch die notwendige Integration diese Art der Behinderung auf ein kleines Maß herunter zu schrauben. Es sollte ein sehr steiniger Weg werden, auf dem ich oft in Eigenregie Sachverhalte immer neu ausprobieren musste, bis sie sowohl von der fachlichen Seite als auch von der Fachdidaktik her akzeptabel ausgearbeitet waren. Es fanden sich zudem einige sehr hilfsbereite Personen, welche mich während dieser Zeit mit Ideen und Hinweisen zur Umsetzung meiner Arbeit unterstützten. Deshalb möchte ich mich an dieser Stelle bei diesen Personen bedanken und hoffe auch bei meinen weiteren Vorhaben auf eine gute weitere Zusammenarbeit mit diesen netten Menschen.

Ich bedanke mich bei der *Carl-Strehl-Schule* in Marburg für die gute Zusammenarbeit, insbesondere bei Herrn *Dr. Werner Liese*, der mit seinen Erfahrungen mir viele Steine auf diesem beschwerlichen Weg aus dem Weg räumen konnte. Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn *Dr. Philipp Reiß*, ohne ihn die Bearbeitung dieses Themas natürlich niemals möglich gewesen wäre. Vielen Schülern und Studenten sei für ihre konstruktiven Hinweise und Ratschläge während der dreimonatigen Arbeitsphase zu danken. Zuletzt bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden, ohne deren Unterstützung ich aufgrund der großen anfänglichen Schwierigkeiten schon nach kurzer Zeit die Flinte ins Korn geworfen hätte. Sehbehinderte und blinde Menschen sollten nicht auf ihre Behinderung alleine reduziert werden. Sie sind es wert als vollwertige Menschen akzeptiert und erhört zu werden. In diesem Sinne...

1 Allgemeine Betrachtungen zu den Behinderungsformen

1.1 Zur Geschichte der Blinden und Sehbehindertenpädagogik in Europa

In den früheren Kulturen und im Altertum galten blinde Menschen als nutzlos und wurden vielfach geächtet. In vielen alten Religionen waren blinde Menschen als Dämonen verschrien und wurden aufgrund ihrer Behinderung gefürchtet. Oft wurden blind geborene Kinder sofort nach der Geburt sich selbst überlassen oder gar von ihren Eltern getötet. Erst seit dem Christentum änderte sich die Einstellung der Gesellschaft gegenüber blinden Mitmenschen. Sie wurden in Klöstern und Krankenhäusern, später auch durch caritative Einrichtungen versorgt und galten sogar als Märtyrer der Gesellschaft vor Gott. Doch erst im 18. Jahrhundert wurde es den blinden Menschen in eigens für sie eingerichteten Schulen ermöglicht, sich zusammen mit sehbehinderten Menschen weiterzubilden. Es sind keine Überlieferungen bekannt, in denen von Blinden- und Sehbehindertenerziehung im Mittelalter oder in der Antike die Rede ist. Hingegen gab es trotzdem einige blinde Menschen, die für ihre Fähigkeiten bewundert wurden, wie z.B. der älteste namentlich bekannte griechische Dichter **Homer** (lebte im 8. Jh v. Chr.) oder **Appius Claudius Caecus** (340 - 273 v. Chr.) ein wichtiger römischer Politiker und Staatsmann.

Im Laufe der Aufklärung kam es zu einem Umdenken und zur Sozialisierung von blinden und sehbehinderten Menschen. Viele begannen darüber nachzudenken, ob es mit einer entsprechenden Ausbildung nicht möglich wäre, blinde und sehbehinderte Mitbürger so an die Gesellschaft anzupassen, dass diese im Stande waren, ein normales Leben ohne größere Einschränkung führen zu können. Mit diesem Gedanken machte sich auch ein französischer Enzyklopädist namens **Denis Diderot** auf, eine Abhandlung über die Blinden in Paris zu schreiben, die „*Lettre sur les aveugles*“, welche große Beachtung in der breiten Gesellschaftsschicht von Paris im Jahre 1749 fand. Im krassen Gegensatz dazu stand übrigens die äußerst brutale und unmenschliche Behandlung der blinden Bettler in den Armenvierteln von Paris. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts war diese Diskrepanz zwischen Verehrung blinder und sehbehinderter Menschen in einigen Gesellschaftsformen und deren Erniedrigung in den Pariser Armenvierteln so hoch angestiegen, dass sich ein Angestellter des französischen Government namens **Valentin Haüy** daran begab, einen blinden jungen Mann im Lesen durch Ertasten zu unterrichten. Er entwickelte eigens dafür eine Reliefschrift, indem er auf dickem Papier lateinische Buchstaben einstanzte, deren Formen sich ertasten ließen. **Haüy** nannte diese Schrift die **Antiqua Reliefschrift**.



Bild 1.1: Valentin Haüy (1745 - 1822)

Den Anstoß zu dieser Entwicklung gab ein Schauspiel auf dem *St. Ovids Jahrmarkt*, wo Blinde des *Quinze-Vingts-Hospiz für Sehgeschädigte* mit lächerlichen Brillengestellen zur Schau gestellt und von der belustigten Zuschauermenge erniedrigt wurden. Seine Erfolge mit seinem blinden Schüler brachten Haüy schließlich dazu, 1784 die erste Anstalt zur Erziehung blinder Kinder, das *Institut National des Jeunes Aveugles (INJA)* in Paris zu gründen. Es folgten zwei weitere Blindenschulen im europäischen Raum und auch die Amerikaner errichteten Institutionen zur Bildung blinder Menschen.

Die erste Blindenschule im deutschsprachigen Raum wurde 1804 von *Johann Wilhelm Klein* in Wien eröffnet, in der blinde und sehbehinderte Bürger nebeneinander unterrichtet wurden. Die im frühen 19. Jahrhundert entwickelte und 1854 offiziell anerkannte *Sechs-Punkte-Blindenschrift* des blinden Soldaten *Louis Braille* (seine Biographie befindet sich in **Anhang 23**), welche auf einem eher unpraktischen Entwurf einer Punktschrift der Franzosen *Valentin Haüy* und einem berühmten Pariser Artilleriehauptmann *Charles Barbier* fußte, ließ erstmals eine praktikable Blinden- und Sehbehindertenpädagogik zu. Diese Entwicklung minderte zur damaligen Zeit die soziale Ungleichheit zwischen Blinden und ihren Mitmenschen in enormem Maße. Zu dieser von *Louis Braille* entwickelten Blindenschrift wird in einem folgenden Kapitel näher Stellung genommen (**vgl. Kapitel 1.4 Die Braille-Schrift**). Es kam zu Neugründungen spezieller Einrichtungen für blinde und sehbehinderte Menschen und es entstanden viele Vereine und Fachzeitschriften über das Blindsein und anderen visuellen Behinderungsformen. Doch diese Entwicklung des Blindenbildungswesens erfolgte nicht sehr flächendeckend, sodass nur in einigen wenigen Regionen Europas

Blindenschulen eingeführt wurden. Grund hierfür waren Unterschiede in Ökonomie, Kultur, wissenschaftlichen und politischen Einflüssen der einzelnen Regionen.



Bild 1.2: Johann Wilhelm Klein (1765 - 1848)

Die errichteten Institutionen wurden mit dem Gedanken an einer lebenslänglichen Versorgung blinder Menschen erschaffen. Eine konkrete Schulbildung konnte jedoch erst mit der Idee der integrativen Beschulung blinder Kinder in Schulklassen der Ortsschulen erreicht werden. *Johann Wilhelm Klein* veröffentlichte im Jahr 1836 eine Arbeit zum Thema Integration blinder Kinder in den Schulen ihrer Wohnorte. Allerdings setzte sich dieses von *Klein* erstmal postulierte Konzept im 19. Jahrhundert noch nicht durch. Allenfalls eine Förderung dieser Idee, blinde und stark sehbehinderte Kinder integrativ in Regelschulen unterzubringen, wurde erstmals in Schottland in den Jahren zwischen 1834 und 1872 mit mehr oder minder gutem Erfolg praktiziert. In Europa kam es zu einer Zentralisierung der Blinden- und Sehbehindertenbildung in dem Maße, dass eigens für blinde Schüler errichtete Institutionen einerseits einen sehr großen Einzugsbereich besaßen, andererseits sich jede einzelne dieser Institutionen auf spezielle Aufgabenbereiche konzentrierte und es so zu einer Art Aufgabenteilung zwischen den einzelnen Blindenschulen kam. 1866 entstand in Worcester (England) die erste Blindenschule mit hoher schulischer Förderung, in der Sehgeschädigte erstmals einen qualitativen Schulabschluss erlangen konnten. Das Privileg an dieser Internatsschule ausgebildet zu werden, hatten jedoch nur adlige Engländer und Bürger aus der englischen Oberschicht. Auch in Deutschland wurde in dieser Zeit darüber referiert, ob sich ein Blindeninstitut mit gymnasialer Förderung lohne. 1879 entschied dann der dritte *Blindenlehrerkongress* in Berlin, dass die Ziele des Blindenunterrichts nur denen einer gehobenen Volksschule entsprechen müssten, da diese Art der Ausbildung für fast alle

Blinden in Deutschland vollkommen ausreichend wäre. Wenn ein blinder Schüler eine höhere Schulbildung anstrebte, so hatte er diese an normalen Regelschulen zu suchen. Dies blieb auch bis Ende des 19. Jahrhunderts so.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts kam es aufgrund von Reformbewegungen im Bereich der Blindenbildung zur Entwicklung neu konzeptionierter Unterrichtsplanungen, welche eine sehr harsche Segregation zwischen blinden und sehenden Schülern vorsah. Das ganze ging sogar so weit, dass die großen Reformpädagogen der damaligen Zeit im weiteren Sinn eine Trennung in der Ausbildung mehrfachbehinderter blinder und „normal blinder“ Schüler vorschlugen. Dieses Umdenken wurde jedoch 1913 von *Zech*, sowie 1924 von *Kühn* in ihren Arbeiten über Blinde im Schulalltag revidiert. Durch politische und gesellschaftliche Veränderungen innerhalb Deutschlands, sowie die Ankurbelung wissenschaftlicher Aktivitäten aufgrund des *Ersten Weltkriegs* und dessen Nachwirkungen, kam es verstärkt zur Förderung des Blinden- und Sehbehindertenbildungswesens durch den deutschen Staat. In vielen Regionen Deutschlands wurde die Schulpflicht für Blinde eingeführt, was wiederum dazu führte, dass viele neue Institutionen speziell für Blinde und Sehbehinderte ins Leben gerufen wurden. 1916 öffnete die *Deutsche Blindenstudienanstalt e.V. (Blista)* in Marburg ihre Pforten, welche einige Jahre später als erste Anstalt überhaupt eine gymnasiale Bildung für Blinde und Sehbehinderte auf der Basis der Blindenselbsthilfe ermöglichte. Zu dieser Institution wird in der weiteren Arbeit noch Stellung genommen (vgl. **Kapitel 2.1 Die Carl-Strehl-Schule in Marburg**). Im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts wurde im Bezug auf Blinden- und Sehbehindertenbildung viel experimentiert. Unter anderem versuchte man Sinnesgeschädigte mit den verschiedensten Behinderungsformen gemeinsam in gemischten Gruppen zu unterrichten. Blinde und Sehbehinderte sowie z.B. auch Gehörlose, wurden so in einer gemeinsamen Klassenstruktur unterrichtet, was man jedoch aufgrund von geerntetem Misserfolg schnell wieder einstellte. Durchsetzen konnte sich nur der Unterricht in gemischten Gruppen mit Sehbehinderten und Blinden. Nach dieser einführenden Erprobungsphase beschloss man die Blinden- und Sehbehindertenbildung von der caritativen Fürsorge zu separieren, was aufgrund großer wissenschaftlicher Erkenntnisse während des *Dritten Reichs* als unbestrittene Notwendigkeit angesehen wurde. In den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts begannen auch die ersten Diskussionen über die Annektierung sehbehinderter Schüler in den Blindenschulen und deren Ausgliederung in neue Sonderschulen für Sehbehinderte. Der gemischte Unterricht mit sehbehinderten und blinden Schülern wurde dabei in Frage gestellt. Die Reformpädagogen waren der Ansicht, dass sehbehinderte Schüler an Blindenschulen für Unruhe sorgten und ihre blinden Mitschüler vom eigentlichen Unterricht abhalten würden. Sie gaben jedoch der Möglichkeit eines falschen Bildungs-

konzeptes für Sehbehinderte im gemischten Unterricht der Blindenschulen Vorrang vor der Störfaktortheorie. Klar war, dass die Subsummierung sehbehinderter Schüler unter die blinden Schüler aufgehoben werden musste, um einen effektiven Bildungsgang für beide Seiten gewährleisten zu können. Diese Separation wurde zu dieser Zeit von wissenschaftlicher Seite her nochmals gestützt, da es durch die Entwicklung neuer Techniken nun möglich war, Sehschärfewerte sehr genau zu bestimmen. Dieses machte nun eine noch genauere Differenzierung der einzelnen Sehbehinderungsgrade möglich. Bereits einige Jahre vorher, genauer gesagt im Jahr 1910, kam es zudem zum sogenannten **Braille-Skandal**. Engländer, Amerikaner und Österreicher entdeckten dabei die Tatsache, dass sehbehinderte Schüler die ihnen im Unterricht vorgelegten taktilen *Braille*-Schriften mit ihren geschwächten Augen lasen, anstatt sie durch Abtasten zu erfahren. Aufgrund dieser Tatsache führte man in einigen Schulen kurze Zeit später die ersten **Lese-Schreib-Kurse** für Sehbehinderte in Schwarzschrift (normale Schrift wie wir sie kennen) ein. Viele Faktoren kamen also zusammen, sodass die von den Reformpädagogen geforderte Separation immer begründeter erschien. Im Jahr 1933 fand somit der erste *Sehbehinderten-Kongress* in Chemnitz statt, an dem jedoch nur vier Sehbehindertenschulen und drei Blindenschulen teilnahmen. Mehr als die Einführung der Lese-Schreib-Kurse kam bei diesem Kongress nicht heraus. Im Jahre 1938 erließen die Bildungsminister im Namen *Hitlers* das **Reichschulpflichtgesetz**, welches die Schulpflicht für Blinde und Sehbehinderte einheitlich reglementierte. Grund hierfür war die reichsüberdeckende Erfassung aller blinden und sehbehinderten Kinder, um diese im Zuge der Euthanasie auszuradieren, da Blinde im Allgemeinen als nicht-arisches eingestuft wurden. Die weitere Entwicklung von speziellen Sonderschulen für sehbehinderte Schüler sowie der bis dahin bestehenden Blindenschulen stagnierte im deutschen Raum im Wahnsinn des *Dritten Reichs* schließlich vollends. In Nordamerika hingegen kamen die Entwicklungen im Blinden- und Sehbehindertenbildungswesen sehr gut voran, sodass im Nachkriegsdeutschland eine Neuorientierung nötig war, schon aufgrund vieler zerstörter Blindenschulen, welche der Krieg gefordert hatte. Daraus ergab sich einerseits die Ausgliederung einzelner Sehbehindertenabteilungen aus den Blindenschulen. Andererseits hatte dies die Errichtung spezieller Bildungsinstitute für sehbehinderte Schüler zur Folge. Jedoch blieb es den sehbehinderten Schülern an diesen speziellen Sehbehindertenschulen verwehrt, einen hohen gymnasialen Abschluss anzustreben. Nur in Blindenschulen gab es diese Möglichkeit der gymnasialen Bildung für sehbehinderte und blinde Schüler gleichermaßen. Ziel dieser neu reformierten Einrichtungen war es, zum einen eine standfeste Bildungsgrundlage für sehbehinderte und blinde Menschen zu schaffen. Zum anderen sollte dadurch die vollständige Sozialisierung blinder und sehbehinderter Menschen in der Gesellschaft der Bundesrepublik gewährleistet werden. [1]

1.2 Blind sein - Was heißt das eigentlich?

Im Laufe der Jahre kam es zu Integrationsbemühungen bei denen versucht wurde, blinde und sehbehinderte Schüler in Regelschulen zusammen mit „normalen“ Schülern zu unterrichten. In Amerika liefen die ersten Programme dieser Art Anfang der 1970er Jahre an, Deutschland und andere europäische Länder entwickelten solche Programme erst Jahre später Anfang der 1980er Jahre. Separierte Blindenschulen mit annektierten Sehbehindertenabteilungen stellen in heutiger Zeit den größten Anteil der Bildungsinstitute für sehgeschädigte Schüler. Heutzutage bilden blinde und sehbehinderte Menschen eine der wichtigsten Gruppen behinderter Menschen und ihre Vertreter suchen durch den Abbau von Vorurteilen die Anerkennung als normale Menschen in der Gesellschaft. Sehbehinderte Menschen bilden mit etwa 1,2 Millionen Menschen (davon etwa 166.000 Blinde) einen großen Teil aller behinderten Menschen in Deutschland (Angabe: *Weltgesundheitsorganisation WHO*, 2002). Jedoch werden etwa 70 % aller Menschen im Laufe ihres Lebens fehlsichtig, sodass sie im Alter auf eine Sehhilfe angewiesen sind.

Information	Sehsinn	Hörsinn	Tastsinn	Geruchssinn	Geschmackssinn
Richtung					
Distanz					
Material					
Größe					
Form					
Orientierung					
Farbe					
Charakteristik					
2. Dimension					

Legende:

	<i>gute Wahrnehmung</i>
	<i>mittlere Wahrnehmung</i>
	<i>schlechte Wahrnehmung</i>
	<i>keine Wahrnehmung</i>

Bild 1.3: Stellenwert der Sinneseindrücke nach der *Vision-for-Doing*-Theorie

Die Sinnesforscher *Aitken* und *Buultjens* erforschten in den letzten Jahren die Wahrnehmung der Menschen als Verarbeitung der inneren und äußeren Reize unter Zuhilfenahme ihrer eigenen Erfahrungen. Diese *Vision-for-Doing-Theorie* gibt Auskunft darüber, welche Informationen über die einzelnen Sinnesorgane aufgenommen werden. Des Weiteren schlüsselten *Aitken* und *Buultjens* anhand eines erstellten Diagramms den Stellenwert der einzelnen Sinneseindrücke in der Umwelt des Menschen auf. [2] Man sieht, dass etwa 80 % der aus der Umwelt erhaltenen Informationen über den Sehsinn aufgenommen werden. Ist dieser extrem eingeschränkt oder gar nicht nutzbar, so kommt es zu einer sehr starken Begrenzung der Informationsaufnahme. Die anderen Sinne müssen also so sehr ausgeprägt werden, um das visuelle Defizit kompensieren zu können. Die allgemeine Definition von Blindheit kann in gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und auch pädagogischer Sicht recht unterschiedlich sein. Der Oberbegriff für diese Krankheit ist in fachsprachlicher Form der Begriff der Sehschädigung, wobei sowohl sehbehinderte als auch blinde Menschen zu den **Sehgeschädigten** zählen. Auf den ersten Blick können sehgeschädigte Menschen nicht ohne weiteres von „normalsehenden Menschen“ unterschieden werden. Daher ist es den Nichtsehbehinderten oft nur schwer möglich, die durch die Sehbehinderung entstehenden Schwierigkeiten ihrer visuell eingeschränkten Mitmenschen zu erkennen. Die rechtliche Sehfähigkeit in Deutschland wird in Prozenten eingestuft. Hierbei geht man nach dem Beschluss der *Bildungskommission des Deutschen Bildungsrates* von 1973 von der Sehfähigkeit von normalsehenden Menschen aus. Wenn diese ein Objekt aus 100 Metern Entfernung erkennen können, ein Sehgeschädigter dieses aber erst aus 10 Metern Entfernung als solches in gleichem Maße zu identifizieren vermag, dann beträgt seine Sehfähigkeit 10 %. Man spricht hierbei auch vom **Visus** des Sehgeschädigten, welcher dann durch Normalisierung des Wertebereichs auf den Einheitsfaktor 0.1 beträgt. Die Blindheit fängt erst bei einer Einschränkung der Sehfähigkeit ab einem Visus von 0.05, die Sehbehinderung schon ab einem Visus von 0.3 an. [3]

Diese Klassifizierung der Sehschädigung ist wichtig im Hinblick auf eine gezielte Beschulung sehgeschädigter Schüler, wobei die ophthalmologischen Funktionsmesswerte wie etwa der Visus dazu dienen können, den Unterricht in einer Schulgruppe soweit es geht individuell anzupassen und zu optimieren. Allerdings sei davor gewarnt, dass jede Sehschädigung individuell beeinträchtigend ist. Selbst bei anscheinend gleicher Diagnose sind die Auswirkungen bei den Betroffenen oft gänzlich unterschiedlich. So kann es beispielsweise sein, dass ein Schüler einen sehr guten Visus vorzuweisen hat, jedoch die Sehfähigkeit direkt vor seinem Fokus, also dem Punkt des Scharfsehens, durch einen dunklen Fleck, verursacht durch *Makula-Degeneration (MD)*, einer Zerstörung der Nervenzellen im Bereich des

schärfsten Sehens oder *Retinopathia Pigmentosa* (*Retinitis Pigmentosa*), einer Erkrankung der Netzhaut mit röhrenartiger Schmälerung des Sichtfelds, stark eingeschränkt ist (**vgl. Bild 1.4: Retinopathia Pigmentosa (links) und Makula-Degeneration (rechts)**). Diese Sehbehinderungsformen müssen im gemischten Unterricht mit sehbehinderten Schülern berücksichtigt werden. Mit Einsatz spezieller Hilfsmittel können diese Einschränkungen auf ein Minimum reduziert werden. [4]



Bild 1.4: Retinopathia Pigmentosa (links) und Makula-Degeneration (rechts)

Sehgeschädigte Schüler bleiben trotz des noch so optimierten Einsatzes von Hilfsmitteln immer sehgeschädigt und werden immer einen Nachteil gegenüber ihren sehenden Mitschülern haben. Im folgenden **Kapitel 1.3** werden zunächst einige allgemeine didaktische und methodische Betrachtungen zur Blinden- und Sehbehinderungspädagogik beschrieben. Zudem werden in den Folgekapiteln verschiedene Hilfsmittel vorgestellt, mit denen man sehgeschädigte Schüler in gemischten Lerngruppen integrieren kann (**vgl. Kapitel 3 ff.**).

1.3 Allgemeine didaktische und methodische Betrachtungen

Zunächst sollen einige allgemeine didaktische und methodische Hinweise zum Umgang mit sehbehinderten und blinden Schülern am Beispiel eines gemischten Unterrichts betrachtet werden. Dabei wird an dieser Stelle sowohl auf den Unterricht an Blindenschulen als auch an Regelschulen eingegangen, in denen sehgeschädigte Schüler in integrativen Lerngruppen mit normalsehenden Schülern unterrichtet werden. Man orientiert sich in der Blinden- und Sehbehindertenpädagogik innerhalb des Unterrichts und dessen sozialer Umgebung an verschiedenen „**Lebensbereichen**“, um dadurch eine optimale Integration sehbehinderter bzw. blinder Schüler in gemischten Lerngruppen zu erreichen. Der Lehrer sollte dabei vor allem die beiden Kriterien **Kommunikation** und **Orientierung** diskutieren, und zwar jeweils individuell angepasst an jeden Schüler. Dadurch lernt er die verschiedensten Probleme der einzelnen Gruppenmitglieder kennen und kann sich so Stück für Stück ein Gesamtbild der unterrichtsspezifischen Situation verschaffen. Je detaillierter er versucht die Probleme der Schüler zu durchleuchten, umso konkreter und kontrastreicher wird dieses Bild, sodass er sich im Laufe der Zeit einige wenige, aber dennoch hilfreiche Lösungsstrategien aneignen kann. Auf diese Weise ist es möglich, alle Mitglieder des Klassenverbandes in gleichem Maße aktiv am Unterrichtsgeschehen teilhaben zu lassen. Dabei sollte der Lehrer tunlichst darauf achten, dass dieses Vorgehen in einer allgemeinen und unaufdringlichen Art geschieht. Er sollte bemüht sein, die Schüler mit Sehschädigung nicht ständig mit ihrer Behinderung als solche zu konfrontieren. Gegenteilige Verhaltensweisen des Lehrers können zum einen extrem kontraproduktiv zur sozialen Integration dieser Schüler sein. Zum anderen besteht die Gefahr, dass die vielfältige Persönlichkeit eines jeden Schülers auf den Grad seiner Sehschädigung reduziert wird.

Im Folgenden soll auf die Umsetzung der in diesem Kapitel vorgeschlagenen Lösungsstrategien zur Integration sehbehinderter und blinder Schüler eingegangen werden, wobei die beiden Bereiche der **Kommunikation** zwischen Lehrer und Schüler bzw. den Schülern untereinander und der **Orientierung** in der Umwelt der Sehgeschädigten als Leitaspekte im Vordergrund stehen sollen. Der Lehrer sollte hierbei allerdings vermeiden, sehbehinderte und blinde Schüler über einen Kamm zu scheren. Die getrennte Betrachtung beider Behinderungsgruppen ermöglicht dem Lehrer eine bessere Basis zur Konzipierung eines gemischten Unterrichts, ohne dass sich die gruppenbezogenen Individualprobleme gegenseitig exponentiell verstärken. Es würde so eine Art negativer Echo-Effekt entstehen und man wird als Lehrer nicht mehr Herr der Lage. Die Vorteile dieser Herangehensweise liegen auf der Hand. Die separierte Betrachtung der einzelnen Behinderungsarten sollte

entscheidende Vorteile bringen, da mit dem Unterricht in methodischer Sicht unterschiedliche Faktoren für beide Formen verbunden sind. Dabei muss man beachten, nicht eine der beiden Gruppen zu bevorzugen. Ein im Gegensatz zum gemischten Unterricht harmloserer Weg ist der reine Unterricht von blinden bzw. sehbehinderten Schülern, auf den hier jedoch nicht eingegangen wird, da der Chemieunterricht in der Oberstufe der *Carl-Strehl*-Schule in Marburg, auf den im weiteren Verlauf der Arbeit näher eingegangen wird, zur Zeit nur auf der Basis gemischter Lerngruppen aus blinden und sehbehinderten Schülern durchgeführt wird.

Im Unterricht gibt es viele Faktoren, die es für den Unterricht mit sehbehinderten und blinden Schülern zu optimieren gilt. Zunächst sollte der Lehrer auf eine gute **Beleuchtung des Klassenraums** achten.



Bild 1.5: Der abgedunkelte Chemieraum der *Carl-Strehl*-Schule

Blendempfindliche Schüler, welche sich z.B. mit Albinismus oder Farbenblindheit zu Recht finden müssen, sollten vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden. Man kann hierbei den Klassenraum komplett mit Hilfe geeigneter Jalousien abdunkeln, um ihn dann mit künstlichem Licht über an der Decke des Klassenzimmers angebrachte Lichtquellen optimal

auszuleuchten, ohne dass einzelne sehbehinderte Schüler durch das erzeugte Licht geblendet werden (vgl. **Bild 1.5: Der abgedunkelte Chemieraum der Carl-Strehl-Schule**). Als nützlich haben sich außerdem Deckenstrahler direkt über der Tafel erwiesen, weil sehbehinderte Schüler Tafelvorgänge ohne zusätzliche Ausleuchtung des Mediums nur mit großen Problemen verfolgen können. Die Anpassung der Augen auf fern und nah bzw. hell und dunkel erfolgt bei Sehbehinderten im Vergleich zu Normalsehenden wesentlich verlangsamt. Dadurch entstehen immer wieder Schwierigkeiten beim Abschreiben von der Tafel und das kann dazu führen, dass gerade in naturwissenschaftlichen Fächern wie in der Chemie wichtige Formel und Grunddefinitionen falsch abgelesen und somit auch falsch angeeignet werden. Ein sehbehinderter Schüler ermüdet wegen der dadurch erhöhten Konzentrationsleistungen deutlich schneller.

Der Unterricht in rein sehgeschädigten Lerngruppen kann bis zu dreimal so viel Zeit in Anspruch nehmen, wie ein vergleichbarer Unterricht in „normalen Lerngruppen.“ Deshalb sollte der Lehrer auf ein ausgewogenes Maß an höheren und geringeren Sehanforderungen achten und sehbehinderten Schülern häufige Sehpausen gönnen. Sollte der Lichtbedarf am Arbeitsplatz des Schülers nicht ausreichend sein, können auch spezielle Standleuchten in direkter Nähe des Arbeitsplatzes oder direkt auf dem Arbeitsplatz installiert werden. Auch der Sitzplatz eines sehbehinderten Schülers sollte gut ausgewählt werden. Beim Einsatz der Tafel als hauptsächliches Medium sollte der Schüler möglichst weit vorne in nächster Nähe zur Tafel sitzen, allerdings ist ein Platz in den vorderen Reihen meist ein eher unbeliebter Platz für Schüler. Viele sehbehinderte Schüler ziehen es gerne vor, sich in den hinteren Reihen zu platzieren, um nicht durch ihre Behinderung aufzufallen. Dies ist nur möglich, wenn der Sehbehinderte den Unterricht von diesem Platz aus gut folgen und selbst aktiv an ihm teilhaben kann. Der Lehrer kann in diesem Fall den Unterricht durch andere Lernmedien wie z.B. durch im Klassenraum integrierte **Computerarbeitsplätzen** unterstützen. Bei Nichtnutzung der Tafel, wie es im Chemieunterricht der *Carl-Strehl-Schule* in Marburg der Fall ist, fällt dieses Problem dadurch weg, dass Lernplattformen von allen Schülern über Computerarbeitsplätze erstellt werden und somit keinerlei Tafelarbeit von Nöten ist. Die Mitarbeiter der Rehabilitationseinrichtungen der *Deutsche Blindenstudienanstalt e.V.* in Marburg sorgen zudem beispielsweise für individuell eingestellte Sitzmöglichkeiten. Sehbehinderte Schüler neigen oft dazu, ausgeteilte Texte oder am Computer erstellte Dokumente durch Einnehmen einer sehr minimierten Distanzhaltung zu studieren, was eine verkrampte Sitzhaltung zur Folge hat. Dieser kann dann durch die spezielle Einstellung des Mobiliars entgegengewirkt werden, um chronische Rückenschäden zu vermeiden.

Einige Hilfsmittel erlauben sehbehinderten Schülern eine größere Projektion des Tafelbildes oder anderer Vorgänge wie etwa den Experimenten des Chemieunterrichts. Hierbei sind das **Monokular** (wahlweise **Binokular**, **Brille**, **Fernglas**, etc.) und der Einsatz eines **Kamera-Systems mit Großbildübertragung**, etwa einer **Tafelkamera** im laufenden Unterricht oder einer **Projektionskamera** begleitend zur Versuchsdurchführung in der Chemie zu empfehlen. Dabei ist zu erwähnen, dass digitale Kamerasysteme von den sehbehinderten Schülern über den eigenen **Laptop** oder den **PC-Arbeitsplatz** genutzt werden können (vgl. **Kapitel 3.1 Der computergestützte Unterricht**). Es gibt sehbehinderte Schüler, welche eine oft unbegründete Angst vor einer unliebsamen Reaktion der Mitschüler bei Benutzung ihrer optischen Hilfsmittel aufbauen. Es ist besonders darauf zu achten, dass diese Schüler wegen ihrer Hilfsmittel von den Mitschülern nicht verspottet werden. Man sollte sie daher zum Gebrauch dieser Hilfsmittel motivieren. Die soziale Integration der Sehgeschädigten im Unterricht sollte deshalb vom Lehrer im Laufe des Unterrichts immer wieder gefestigt werden. Auch blinde Schüler benötigen spezielle Sitzgelegenheiten während des Unterrichts. Sie sollten an einen Platz gesetzt werden, an dem sie den Lehrer gut hören können und behelfen sich mit den verschiedensten Utensilien auf die in den **Kapiteln 1.5** und **3** näher eingegangen wird. Die Integration in den Klassenverband sollte dabei nicht durch Isolation verloren gehen. Die Wahl kleinerer Lerngruppen kann hier Abhilfe schaffen. So ist die Klassengröße in der *Carl-Strehl*-Schule auf ein Maximum von zwölf Mitgliedern pro Lerngruppe begrenzt. Wenn man als Lehrer auf die **Tafelarbeit** im Unterricht der Regelschulen nicht verzichten möchte, um auch anderen „normalen“ Schülern eine optimale Lernplattform bieten zu können, sollte man immer darauf achten, dass die Tafel zum einen immer sauber ist und man zum anderen nur mit stark kontrastreichen Farben auf dieses Medium schreibt. Hierbei haben sich die Farben weiß und gelb auf normalen dunkelgrünen (oder noch besser schwarzen) Schultafeln bewährt. Die Schrift des Lehrers muss dabei ordentlich und groß genug sein, sodass die sehbehinderten Schüler keine Probleme beim ablesen der Informationen haben. Da sie eine längere Zeit als normalsehende Schüler brauchen, den Tafelinhalt in ihre Unterlagen zu übernehmen, sollte ihnen nicht noch zugemutet werden, die Handschrift des Lehrers identifizieren zu müssen. Deshalb sollte auch die Tafelarbeit in der Vorbereitung des Lehrers zur jeweiligen Stunde durchdacht und ausprobiert werden und man sollte vergessene Bemerkungen nicht „zwischen die Zeilen quetschen“. Wenn ein Fehler bei Erstellung des Tafelbildes gemacht wurde, sollte deshalb mit Fußnoten gearbeitet werden. Eine Erleichterung für sehbehinderte Schüler und eine unabdingbare Methodik für Blinde sollte es sein, den Tafelanschrieb immer ausreichend zu verbalisieren. Sehbehinderte Schüler können so die von der Tafel nicht lesbaren Informationen akustisch aufnehmen. Eine diktathafte Ausdrucksweise sollte dabei angewandt

werden, wobei je nach Lerngruppe auch auf die Tafelarbeit verzichtet werden kann. In Lerngruppen mit sehbehinderten Schülern sollten die Unterrichtsinhalte immer visuell greifbar gestaltet werden. Es ist weiterhin darauf zu achten, dass der Klassenraum in ruhiger Lage gewählt wird, d.h. dass der Unterricht in diesem Klassenraum nicht durch äußere Lärmbelästigungen wie z.B. durch Verkehrsgeräusche oder etwa den im Nachbarraum stattfindenden Musikunterricht gestört wird. Dadurch kann der Lehrer blinden Schülern, welche nur auf das gesprochene Wort als Informationsquelle zurückgreifen können, die Möglichkeit geben, am aktuellen Unterrichtsgeschehen teilzunehmen. Nonverbale Hinweise wie z.B. Kopfnicken oder andere Gestiken sind während des gesamten Unterrichts zu unterlassen.

Für eine Lerngruppe mit blinden und sehbehinderten Schülern kann wie oben bereits erwähnt die Tafelarbeit durch Eintragungen in Computerprogramme wie z.B. *MS-Word™* ersetzt werden. Da blinde Schüler ihre Unterlagen heutzutage meist in elektronischer Form als Textdatei am Laptop oder am PC-Arbeitsplatz erstellen, ist der Einsatz von Textprogrammen und allgemein auch Computerprogrammen zu empfehlen. Der Einsatz von **Computern** als Hilfsmittel im Unterricht mit sehbehinderten und blinden Schülern wird an späterer Stelle fachspezifisch beleuchtet (vgl. **Kapitel 3.1**). Eine weitere Art von Mitschrift für blinde Schüler ist der Einsatz weiterer Hilfsmittel wie z.B. der Punktschriftmaschine oder der **Braille-Tafel** (vgl. **Kapitel 1.5 Hilfsmittel zur Erstellung und Erfahrung taktiler Medien**). Eine große Hilfe beim Abschreiben von der Tafel können die Mitschüler der Sehgeschädigten darstellen. Diese können den sehschwachen Schülern durch Erstellung einer **Durchschrift mittels Pauspapier** bzw. durch **Abschreiben lassen** von der eigenen Mitschrift helfen. Grundvoraussetzung hierfür ist selbstverständlich eine gute Handschrift ihrerseits. Auch der Lehrer selbst kann natürlich eigene Kopien, welche vorzugsweise per Computer erstellt werden sollten, in gedruckter sowie zusätzlich in elektronischer Form an sehbehinderte und blinde Schüler zum Ende der Stunde oder unterrichtsvorbereitend austeilen. Wenn im Unterricht **Arbeitsblätter** ausgeteilt werden, ist darauf zu achten, dass diese in einer gut lesbaren Form, möglichst nur schwarze Schrift auf weißem Papier, in großzügiger Schriftgröße in den üblichen Schriftarten **Times New Roman**, **Arial** oder die bei sehbehinderten Schülern sehr oft genutzte serifenlose Linear-Antiaqua-Schriftart **Verdana** erstellt werden. Auf Umweltpapier sollte trotz des umweltschonenden Faktors aufgrund der schlechteren Lesbarkeit verzichtet werden. Es kann auch sein, dass die Wahl einer zu kleinen Schriftgröße, welche dem Auge zwar nicht schadet, aber dennoch eine gekrümmte Sitzhaltung aufgrund einer gering gewählten Lesedistanz durch Vorbeugen des Schülers bedingt. Dies kann zu einer starken Belastung der Wirbelsäule und einer damit verbundenen

weiteren körperlichen Schädigung führen. Wenn die Kopien für normalsehende Schüler relativ klein sind, sollte eine Vergrößerungskopie für sehbehinderte zur Verfügung gestellt werden. Für sehbehinderte und insbesondere für blinde Schüler kann ein zu bearbeitender Text oder ein Arbeitsauftrag auf **Band** oder mit geeigneten Computerprogrammen auf **CD-R** gesprochen werden. Ein Beispiel hierzu ist das Chemiehörspiel „Die Neuorientierung der Chemie“, welches in **Anhang 22** dieser Arbeit in vollständiger Version zu finden ist. Bei blinden Schülern sind Textvorlagen, die nicht in elektronischer Form vorliegen, in Punkschrift zu übertragen. Das bedarf einer längeren Einarbeitungsphase für den Lehrer, was man bei der Unterrichtsplanung berücksichtigen sollte. Bei einer gemischten Lerngruppe von sehenden und sehgeschädigten Schülern ist darauf achten, dass ausgeteilte Texte verschieden schnell bearbeitet werden können. Umfangreiche Texte können daher den sehbehinderten Schülern schon einen Tag vorher zur Bearbeitung ausgeteilt werden. Auf schwierig zu interpretierende Grafiken sollte im Unterricht verzichtet werden. Komplexe **Grafiken** können vom Lehrer in adaptierter Form je nach Sehvermögen didaktisch reduziert eingesetzt werden. Zum Beispiel kann man kontrastarme Farbgrafiken in Graustufen darstellen lassen oder auf vereinfachte und gut lesbare Beschriftung der Grafiken zurückgreifen. Beim medialen Einsatz sollte jedoch immer die Frage des Nutzens gestellt sein. Wenn Informationen aus einer anderen leichter verständlichen Quelle schon bekannt sind, braucht man nicht unbedingt eine weitere Grafik.

Beim Einsatz neuer Medien für ein bereits bekanntes Unterrichtsproblem läuft man als Lehrer oft Gefahr, dass diese zu großen Verwirrungen führen können. Weniger ist hier oft mehr. Bei der Übertragung von visuell erfahrbaren Grafiken in **taktile (tastbare) Grafiken** sollte daher vorher genau der Informationsgehalt der Abbildung analysiert werden. Auch der Unterricht an Gegenständen hilft sehbehinderten und vor allem blinden Schülern den Sachverhalt zu begreifen. Gegenstände können in die Hand gegeben werden, um so zum einen von den sehbehinderten Schülern näher optisch untersucht werden zu können und zum anderen für blinde Schüler taktil erfahrbar zu werden. Bei **Overhead- oder Beamer-Projektionen** muss das zu übertragene Bild möglichst in Augenhöhe der sehbehinderten Schüler erscheinen, um diesen die Betrachtung des Bildes zu erleichtern. Außerdem könnten projizierte Bilder zusätzlich als gedruckte Kopie für sehbehinderte und in taktile Form für blinde Mitschüler ausgeteilt werden. Unerlässlich ist die verbale Beschreibung des Bildes für sehbehinderte und blinde Schüler entweder durch den Lehrer oder niveaugerecht durch Mitschüler, da Sehgeschädigte meist den gesamten Informationsgehalt aus dem Medium allein nicht erfassen können. Die annektierte **Medienwerkstatt** der *Carl-Strehl*-Schule konzipiert auf individuellen Wunsch der Lehrer taktil und auditiv erfahrbare Medien, welche

den Unterricht in enormem Maße unterstützt. Auch eine Hörbücherei steht mit ihrem großen Katalog an auditiven Medien für den mediengestützten Unterricht der *Carl-Strehl*-Schule zur Verfügung. Sollte man auf eine derartige Hilfe nicht zurückgreifen können, so sollte man den Einsatz selbst erstellter Medien auf taktile Basis gut abwägen, da der Aufwand zur Erstellung solcher Medien ohne geeignete Hilfsmittel sehr groß ist und man deshalb oft besser bedient ist, den Sachverhalt durch einfachere Medien darzustellen.

Bei der Durchführung von **Klassenarbeiten** ist sehgeschädigten Schülern nach dem Erlass über „*Nachteilsausgleich für Menschen mit Behinderung bei Prüfungen und Leistungsnachweisen*“ eine Arbeitszeitverlängerung zu gewähren. [5] Diese kann in der Regel bis zur doppelten Arbeitszeit betragen und ist individuell für jeden einzelnen sehbehinderten bzw. blinden Schüler in nicht-homogenen Gruppen, je nach Art und Qualität der Vorlagen und den technischen Fertigkeiten des Schülers bei Benutzung von Sehhilfen notwendig. Außerdem hängt dies auch viel von der Kompensationsfähigkeit eines jeden Schülers ab. In homogenen Gruppen kann wie im „normalen“ Klassenverband an Regelschulen eine einheitliche Bearbeitungszeit gesetzt werden. Folgendes Beispiel soll die Funktion eines mediengestützten Unterrichts im Hinblick auf die Angleichung verschiedener Behinderungsgrade bei der Durchführung einer Klausur in gemischten Lerngruppen aufzeigen. Während der Hospitationsphase an der *Carl-Strehl*-Schule war es dem Autor möglich, einer Klausur im Fach Chemie in der elften Jahrgangsstufe beizuwohnen. Die Klausur über den Stoff des in der Praxis erprobten Unterrichtsentwurfs (vgl. **Kapitel 6 ff.**) wurde von den Schülern der gemischten Lerngruppe über das Textverarbeitungsprogramm *MS-Word*TM mit Einbindung des Programmzusatzes *LiTeX* an Computerarbeitsplätzen erstellt. Ihnen stand dabei nur die normal angesetzte Zeit für Chemieklausuren in der Oberstufe von Regelschulen von zwei Schulstunden zur Verfügung, weil der mediengestützte Unterricht über *LiTeX* eine Arbeitszeitverlängerung unnötig werden ließ. Die Durchführung der Klausur zeigte dabei die Stärken eines mediengestützten Unterrichts auf. Durch optimalen Einsatz verschiedenster Hilfsmittel, das bewies nicht nur die Klausur sondern auch der Unterricht in der 11 AG 03 der *Carl-Strehl*-Schule, wird den sehgeschädigten Schülern auf diese Weise die Chance ermöglicht, den gleichen Klausur- und Unterrichtsstoff wie ihre sehenden Mitschüler ähnlichem Arbeitstempo bewältigen zu können (vgl. auch **Kapitel 3.2 LiTeX - Eine Formelvorlage für MS-Word**TM).

Als Fazit kann gesagt werden, dass man als Lehrer immer darauf achten sollte, einen **handlungsorientierten Unterricht** für sehgeschädigte Schüler anzubieten. Das erleichtert den blinden und sehbehinderten Schülern das Begreifen von Zusammenhängen. In einem

gemischten Unterricht wird so die Diskrepanz im Auffassungsvermögen zwischen sehgeschädigten und normalsehenden Schülern verringert. Ein Unterricht, welcher auf akustische und taktile Sinneswahrnehmungen Rücksicht nimmt, ist vor allem bei einer Lerngruppe mit blinden und stark sehbehinderten Schülern zu empfehlen. Durch eine Reduktion des Unterrichtstoffes kann man des Weiteren Schüler mit Sehschädigung im Unterricht eher einbinden. Man sollte hier allerdings gut abwägen, da in gemischten Lerngruppen durch diese Reduktion des Stoffes Motivation bei normalsehenden Schülern nach dem Motto „*Oh man, das kann ich ja eh schon...*“ verloren gehen kann. Gleiches gilt für die Verlängerung von Bearbeitungszeiten einzelner Themengebiete oder Arbeitsblätter im Unterricht. Hier kann durch Zusatzaufgaben für Schüler, welche nicht durch eine visuelle Beeinträchtigung gehemmt sind, einem Desinteresse an der Methodik entgegengewirkt werden. Durch ein größeres Maß an Alltagsbezug lassen sich Dinge für sehbehinderte und blinde Schüler eher begreiflich machen. Man sollte als Lehrer seinen Unterricht deshalb auf der Basis phänomenologischer Ansätze an aktuellen Erlebnissen und Erfahrungen der Schüler in gemischten Klassengemeinschaften vor allem an den Erfahrungen der sehbehinderten und blinden Schüler orientieren (**Chemie im Kontext**).

Im verbal formulierten Unterrichtsgespräch sollten sehbehinderte Schüler immer mit Namen angesprochen und Gestiken ohne akustische Untermalung vermieden werden, da sehbehinderte Schüler dem Unterricht dadurch nur schwer und blinde Schüler dem Unterricht gar nicht folgen können. Durch die Unterlassung akustischer Umschreibungen kann es geschehen, dass sehgeschädigte Schüler wichtige Details der Informationsvermittlung durch den Lehrer nicht in der Gesamtheit erfassen. Für den Lehrer ist es bei der Gestaltung von Unterricht sehr hilfreich, sich in die Rolle der Lernenden mit Sehschädigung hineinzuversetzen und die Art und Schwere ihrer Behinderungen geistig nachzuvollziehen. So können Schwierigkeiten während des Unterrichts schnell erkannt und somit die Komplexität des Unterrichts gut abgewogen und individuell angepasst werden. Es ist zu empfehlen, die Lernsituation so zu gestalten, dass sehgeschädigten Schülern das Lernen an sich erleichtert wird. Dies kann durch gute **Strukturierung** und **Anschaulichkeit** des Unterrichtsverlaufs und der in ihm zu vermittelnden Lerninformation erreicht werden. Aufgrund der visuellen Beeinträchtigung bleiben Sehgeschädigten manche grundlegenden Erfahrungen aus dem Alltag unzugänglich. Normalsehende Schüler machen schon von Kindheit an viele Entdeckungen, die ihnen bei einer Sehbeeinträchtigung im Dunkeln bleiben würden. Eine Abwägung ist auch hier unbedingt erforderlich. Auch Begriffsbildungen wie z.B. Farbeindrücke (Farbigkeiten, hell und dunkel, etc.) sind den sehbehinderten und blinden Schülern schwerer bis gar nicht zugänglich. Es kann hier zu einer nicht ausreichend mit Inhalt

zu füllenden Hohlphrasen kommen, welche die sehbehinderten und blinden Schüler innerhalb der Gemeinschaft gemischter Lerngruppen ausgrenzen könnte. Der Unterricht im gemischten Klassenverband sollte auf Verbalisierung und Vergegenständlichung fußen. Objekte in die Hand zu nehmen, ermöglicht ein besseres Verstehen des situativen Unterrichtsgeschehens. Vor allen Dingen braucht ein sehgeschädigter Schüler ausreichend Zeit, um seinen Lernort, den Klassenverband, also seine Mitschüler, den Lehrer und seinen Unterricht erschöpfend erkunden zu können. In fachspezifischer Sicht gibt es in jedem Unterrichtsfach einige Besonderheiten, auf die der Lehrer achten muss. In dieser Arbeit wird im Folgenden das Fach Chemie in der gymnasialen Stufe am Beispiel des Einführungsunterrichts der Organischen Chemie während der Jahrgangsstufe 11 näher betrachtet (**vgl. Kapitel 4 Spezielle Hilfsmittel für Blinde im Chemieunterricht**).

1.4 Die Braille-Schrift

Im Jahre 1825 entwickelte ein blinder Franzose namens *Louis Braille* die bis heute allgemein gültige Blindenschrift in deutschen Schulen, welche von blinden Menschen durch Ertasten gelesen werden kann. Die **Braille-Schrift** besteht aus einem speziellen Punktsystem, aus dem jeder Buchstabe eines Wortes oder jedes Zeichen eines Textes durch je eine bestimmte definierte Punktfolge repräsentiert wird. Dieses System ist in der Regel aus sechs (bzw. das erweiterte System aus acht) Punkten aufgebaut, welche ähnlich wie man es von einem Spielwürfel kennt regelmäßig in zwei Spalten und drei Zeilen eingeteilt sind (**vgl.**

Bild 1.6 unten).

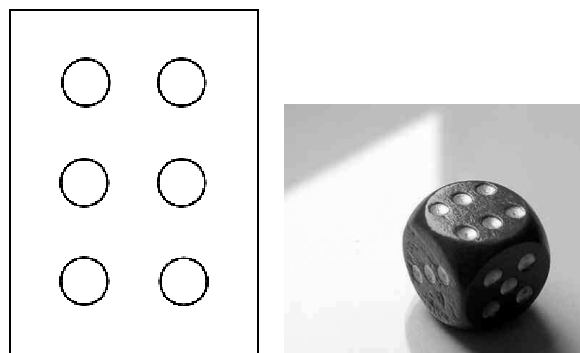


Bild 1.6: Sechs-Punkt-System der Braille-Schrift

Die oben abgebildete Form nennt man die Grundform eines *Braille*-Zeichens, wobei jedes einzelne Zeichen durch Befüllen der Platzhalter (hier durch weiße Kreise dargestellt) in einer

taktilen Form auf dem Papier erscheint. Die verwendeten Punkte, die später zum taktilen Auslesen auf spezielle Papiermedien eingestanzt werden, besitzen in der Regel einen Durchmesser von 1,5 -1,8 mm, sodass die einzelnen Zeichen ein Ausmaß von etwa 4 mm Breite und etwa 6 mm Länge haben. Die Punkte 1 bis 3 stehen in der linken Spalte des Zeichensystems, die Punkte 4 bis 6 in der rechten Spalte, wobei von oben nach unten durchnummeriert wird. Durch Auffüllen des vorgegebenen Rasters mit Punkten erhält man 64 verschiedene Anordnungen und Kombinationen, wovon 63 Möglichkeiten zur Übertragung von Zeichen genutzt werden. Zur besseren Übersicht nummeriert man diese einzelnen Punktstellungen dann wie oben beschrieben:

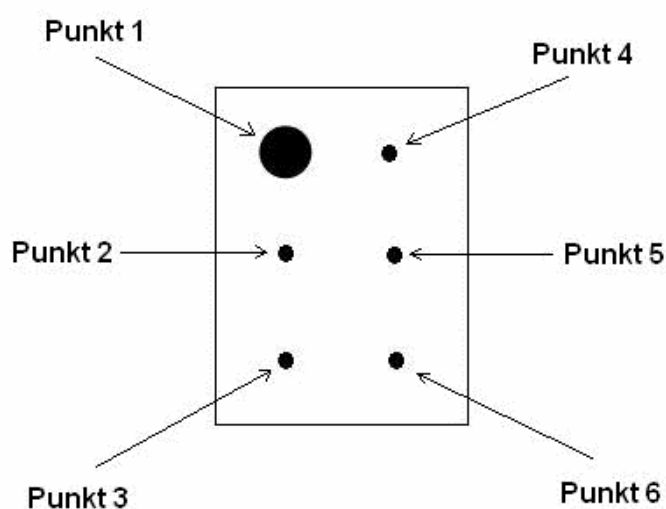
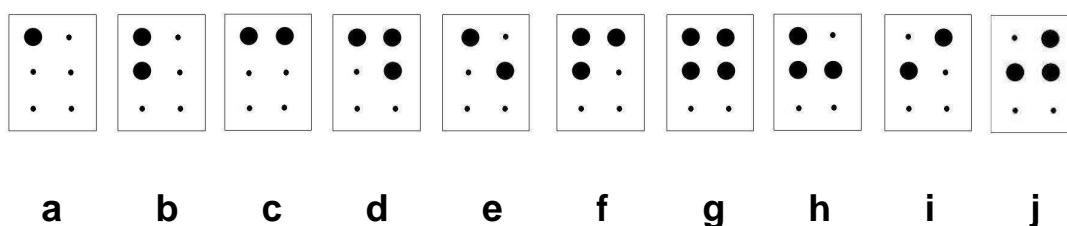


Bild 1.7: Punktstellungen des *Braille*-Systems

Die Anordnung mit allen sechs Punktbesetzungen existiert in der *Braille*-Schrift nicht. Aus diesen Grundvoraussetzungen ergeben sich im *Braille*-Alphabet nun nochmals einzelne Untergruppen, was auf der Tatsache beruht, dass die einzelnen Zeilen des Rasters unterschiedlich stark genutzt werden. Diese gewählte Einteilung besteht aus insgesamt **sieben Untergruppen**. Die **erste Gruppe** besteht aus den ersten zehn Buchstaben **a bis j** des uns bekannten Alphabets.



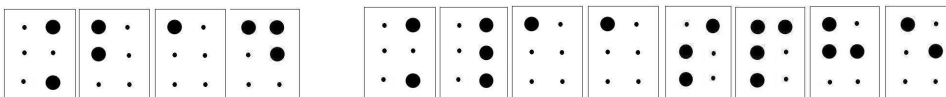
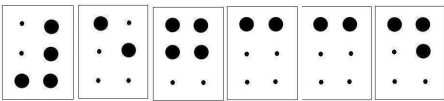
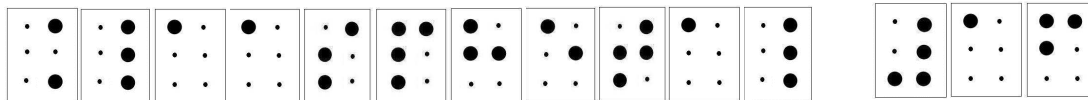
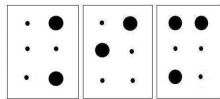
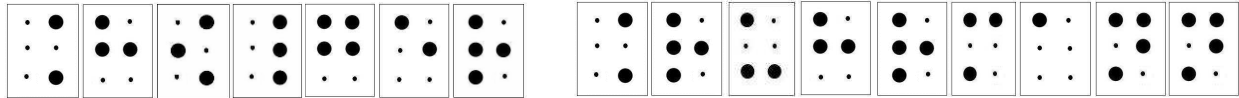
Holger Ruhrmann

Im

Laaspetal 16

57334

Bad Laasphe



Eine komplette Liste aller Zeichen, kann in **Anhang 24** nachgeschlagen werden. Man bekommt etwa 1000 taktile Zeichen auf ein normales DIN-A4-Blatt. Im Vergleich dazu können etwa 3500 Zeichen normale Schwarzschrift auf ein Blatt selber Größe gedruckt werden. Die Übertragung der Zeichen auf Papier erfolgt zum einen über Punktschrift-Stanzdrucker. Zum anderen kann man durch spezielle Schwellpapiere eine taktile Wiedergabe von *Braille*-Zeichen erreichen (vgl. **Kapitel 1.5**). Deshalb sind *Braille*-Schrift-Bücher wesentlich dicker als ihre Schwarzschrift-Pendants. [6] So überführte die *Deutsche Blinden-Bibliothek* in Marburg den ersten Band der Harry Potter-Serie „*Harry Potter und der Stein der Weisen*“ aus der 335-seitigen Taschenbuchausgabe in eine fünfbändige *Braille*-Ausgabe.

1.5 Hilfsmittel zur Erstellung und Erfahrung taktiler Medien

a) Die *Braille*-Tafel

Eine *Braille*-Tafel dient zur Erstellung einer taktilen *Braille*-Schrift auf herkömmlichem Papier oder Pappe. Sie ist meist aus metallischem Material oder Plastik gefertigt, was der Tafel eine nötige Stabilität bei der Benutzung verleiht. Aufgebaut sind *Braille*-Tafeln aus zwei an einer gemeinsamen Kante miteinander befestigten Platten, wobei die Vorderseite der Tafel ein Raster auf der Basis der **Sechs-Punkt-Schrift nach *Braille*** vorgibt, mit dem man dann die einzelnen Zeichen mit einem dazugehörigen Stanzgriffel sauber angeordnet in ein spezielles Papier einstanzen kann. Die Hinterseite dient nur als Blatthalterung beim Erstellen der taktilen Dokumente.

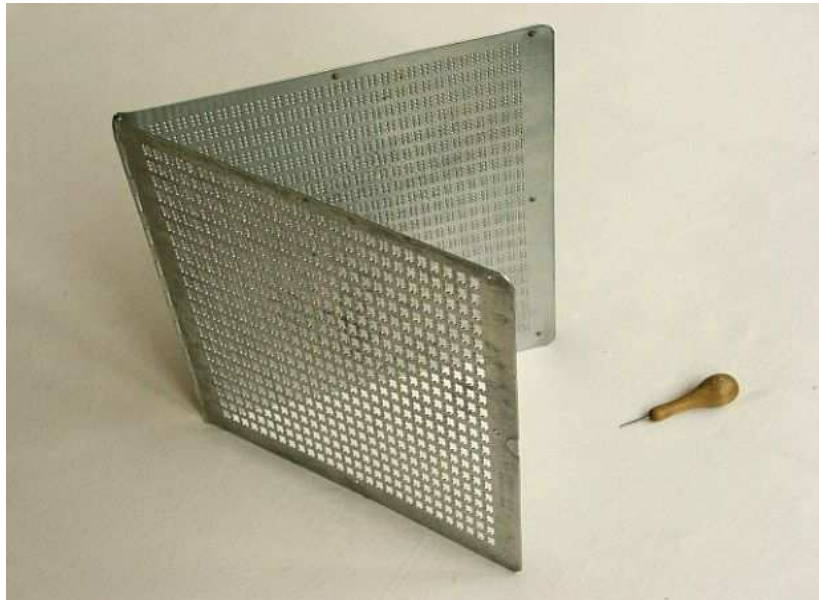


Bild 1.8: Eine aufgeklappte *Braille*-Tafel mit Stanzgriffel

Von der Größe her eignen sich Blätter bis zu DIN-A4, was dem heutigen Standard in den allgemeinen Schulen entspricht. Dadurch können *Braille*-Tafeln im Gegensatz zu schweren Punktschriftmaschinen sehr leicht transportiert werden. Die Blätter werden zur Bearbeitung zwischen beide Tafelseiten geklemmt. Zur Ausrichtung der Blätter dienen seitliche Einbuchtungen auf der Vorderseite der Tafel. Da die Erhebungen im taktilen Blatt mit dem Stanzgriffel eingedrückt werden, muss die Erstellung spiegelverkehrt gegen die Leserichtung, also von rechts nach links erfolgen. Zum Lesen dreht man das Blatt dann einfach um.

b) Die Punktschriftmaschine

Ein etwas komfortableres Gerät zur Erstellung taktiler Schriften ist die **Punktschriftmaschine**, die es ermöglicht taktile *Braille*-Schriften in schneller Zeit manuell zu erstellen. Hier werden ähnlich einer Schreibmaschine jeder Taste verschiedene Punktsätze zugeordnet.

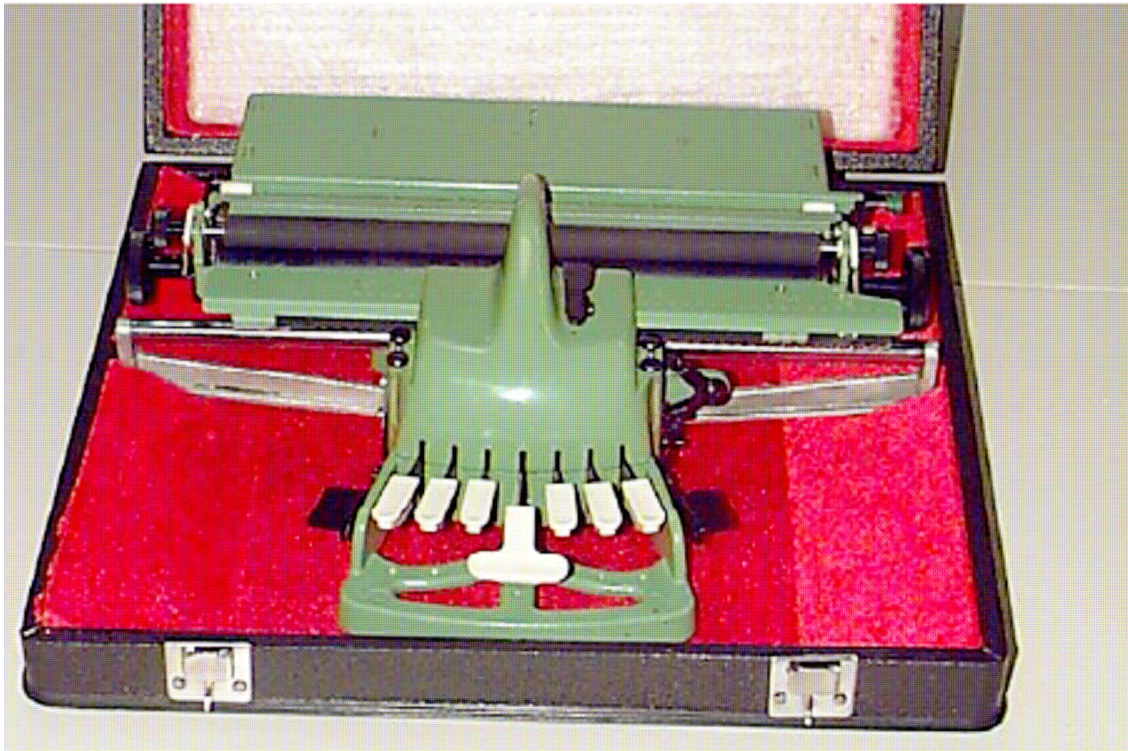


Bild 1.9: Die Marburger Bogenmaschine als Beispiel einer Punktschriftmaschine

Durch gleichzeitiges betätigen einer Tastenkombination werden so die gewünschten Zeichen in das eingelegte Papier gedrückt. Der Vorteil dieser Maschine ist neben der enormen Schnelligkeit im Vergleich zur *Braille*-Tafel die **WYSIWYG-Erstellung** (What you see is what you get) taktiler Schriften, da diese hier wie gewohnt von links nach rechts auf das eingelegte Papier gebracht werden. Der Nachteil liegt in den hohen Beschaffungskosten, sowie in der Unhandlichkeit beim Transport der sehr schweren Geräte.

c) Schwellpapier - Eine Methode zur Erstellung taktiler Grafiken

Um Dokumente auf Textbasis, aber auch Skizzen oder Grafiken im Chemieunterricht für blinde Schüler erfahrbar zu machen, bedient man sich speziellen Tastfolien, sogenannte **Schwellpapiere** (auch **Japan-Papiere** genannt), auf denen durch ein spezielles Schwarz-Weiß-Druckverfahren zunächst die gewünschten Abbildungen aufgebracht werden. Durch Einwirkung von Hitze mittels eines **Tastkopierers** quillt das Spezialpapier an den geschwärzten Stellen auf, sodass taktile Formen entstehen, was folgendes Foto verdeutlicht.

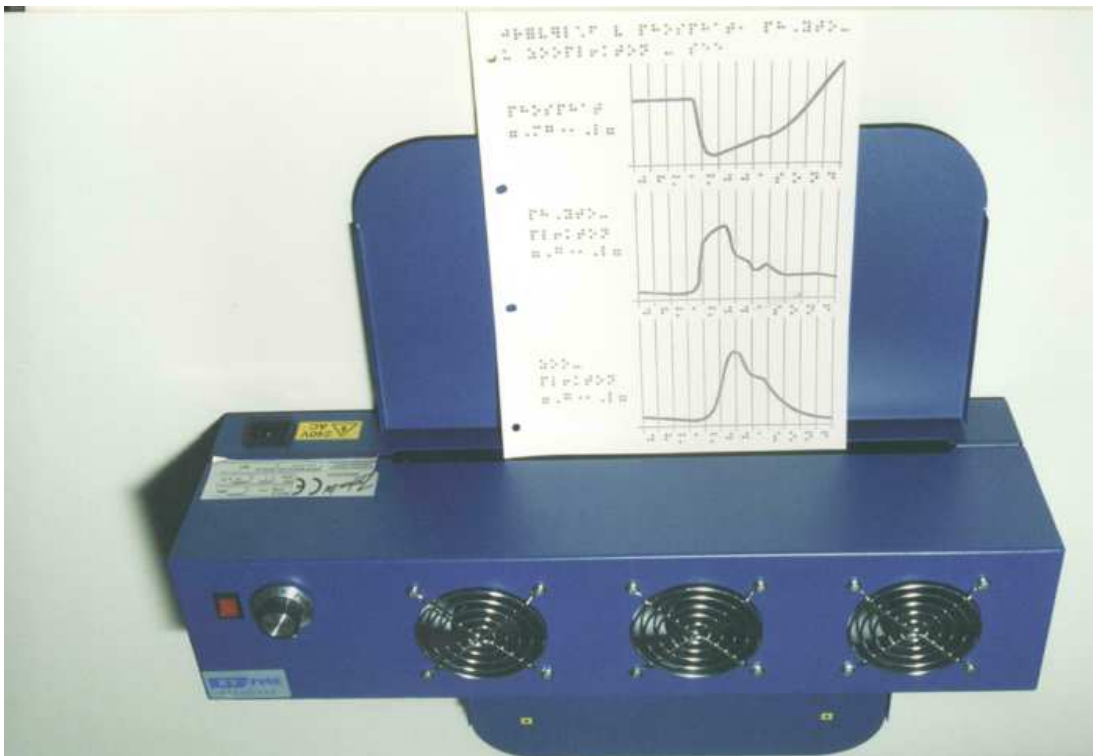


Bild 1.10: Ein Tastkopierer mit erstellten taktilen Diagrammen

Je schwärzer der Druck auf dem Quellpapier und je länger die Verweilzeit der vorbereiteten Seite im Tastkopierer ist, desto intensiver wird das taktile Produkt. Die Wahl der Liniendicke spielt dabei ebenfalls eine entscheidende Rolle. Zu dicke oder zu dünne Linien können zu Schwierigkeiten in der taktilen Erfahrung führen. Deshalb muss der Umgang mit der sehr fein justierbaren Einstellung der Tastkopierer, sowie die geeignete Wahl an Quellpapier im Vorfeld vom Lehrer erprobt werden. Auf diese Weise lassen sich etwa taktile **Gas-Chromatogramme** erstellen, die im Chemieunterricht Verwendung finden (vgl. **Kapitel 17 Neunte Stunde: Die Gaschromatographie**).

d) Die *Braille-Zeile* am Computer

Eine *Braille-Zeile* ist ein Hilfsmittel zur Übersetzung von einzelnen Bildschirmzeilen (z.B. in *MS-Word™*) in die *Braille-Schrift*. Sie ist sozusagen der abtastbare Bildschirm für Blinde am PC-Arbeitsplatz. Angeschlossen an eine *MSAA-Schnittstelle* (Microsoft™ Active Accessibility) des Computers, welche die Möglichkeit bietet, den Schnittstellenstandards zur Bildschirmkommunikation seitens des Betriebssystems zu nutzen, interpretiert dieses Hilfsmittel dann mit Hilfe eines Screenreaders wie z.B. *Jaws™ für Windows™* den kompletten Inhalt eines Textdokumentes, welcher dann mit den Fingern auf dem Gerät abgetastet werden kann. Wie in taktilen Schriften (vgl. **Kapitel 1.4 Die *Braille-Schrift***) bilden kleine Stifterhebungen, welche sich computergesteuert auf der *Braille-Zeile* in einer Sechs- oder Acht-Punkte-Kombination anordnen, die bekannten *Braille-Zeichen*.



Bild 1.11: Vergrößerung einer 8-Punkt-*Braille-Zeile* für den Laptop

Über den Handel sind Geräte mit einer Darstellung von bis zu 80 Zeichen pro Zeile (z.B. *SuperVario™ 80* oder *BM 80*) verfügbar, wobei sich jedoch die **64-Zeichen-*Braille-Zeile*** (z.B. *SuperVario™ 64*) als die Übliche im Einsatz an deutschen PC-Arbeitsplätzen für Blinde bewährt hat, da diese von der Größe her einer *Standard-MF-Tastatur* entspricht. [7]

2 Der Chemieunterricht der gymnasialen Oberstufe in Blindenschulen

2.1 Die *Carl-Strehl*-Schule in Marburg

Die *Carl-Strehl-Schule* in Marburg wurde im Jahre 1920 im Zuge der Nachwirkungen des *Ersten Weltkriegs* als erstes blindenpädagogisches Institut mit gymnasialer Ausrichtung weltweit gegründet. Viele Heimkehrer litten an Augenverletzungen oder sogar Blindheit, welche sie sich in den Schlachten des Krieges zugezogen hatten. Unter der Leitung von *Carl Strehl*, einem blinden Studenten und Vorsitzender des *Vereins der blinden Akademiker Deutschlands*, und *Prof. Dr. Alfred Bielschowsky*, dem damaligen Direktor der *Marburger Universitäts-Augenklinik*, wurden zunächst Kurse für Kriegsblinde eingerichtet, in denen diese in die **Orientierung** und **Mobilität** als blinde Bürger innerhalb der Gesellschaft eingeführt wurden, was später zur Ausweitung dieser Institution und Gründung eines Gymnasiums führte.



Bild 2.1: Der Innenhof der *Carl-Strehl*-Schule

Die *Carl-Strehl*-Schule wie wir sie heute kennen, ist eine staatlich anerkannte Schule in freier Trägerschaft (ugs. Privatschule) für derzeit etwa 260 sehgeschädigte Schüler aus dem gesamten deutschsprachigen Raum. Orientierend an den Richtlinien des Landes Hessen für Gymnasien können blinde und sehbehinderte Schüler an dieser Schule gleichermaßen das Abitur, das Fachabitur oder auch eine abgeschlossene Berufsausbildung erwerben. Jeder Schüler, der von einer normalen Regelschule auf die *Carl-Strehl*-Schule wechselt, bringt dabei natürlich andere Erfahrungen und Voraussetzungen aus früheren Schuljahren mit. Zudem sind viele Schüler dabei das erste Mal von ihren alten Freunden und Familien getrennt und müssen sich zunächst in ihrer neuen sozialen Umgebung zurechtfinden (**vgl. Kapitel 1.3 Allgemeine didaktische und methodische Betrachtungen**). Diese Probleme können durch eigens für sie eingerichtete Wohnmöglichkeiten in der Gemeinschaft anderer sehgeschädigter Schüler und durch das speziell für blinde und sehbehinderte Schüler optimierte Unterrichtsangebot zu einem großen Teil kompensiert werden.



Bild 2.2: Eindrücke aus der *Carl-Strehl*-Schule

Die gymnasiale Ausbildung der Schule beginnt mit einem Eingangsunterricht der Jahrgangsstufen 5 und 6, in dem geprüft wird, ob sich die Schüler für eine gymnasiale Ausbildung eignen. Die Mittelstufe steht nach dieser zweijährigen Erprobungsphase ganz im Zeichen der Spezialisierung bestimmter Fachgebiete, wie etwa die Einführung des musisch-künstlerischen Bereichs und der Arbeitslehre oder die Schulung in IT-Techniken, sowie die Einführung einer zweiten Fremdsprache neben Englisch und den damit verbundenen Schüleraustauschprogrammen mit Schulen aus Frankreich, England und Polen. In der anschließenden Oberstufenphase stellen sich die Schüler ihren Lernplan anhand ihrer Leistungsschwerpunkte in einem Kurssystem individuell zusammen und halten nach Beendigung einen qualifizierten Schulabschluss in den Händen, der sie befähigt, an allen Hochschulen in Deutschland zu studieren.



Bild 2.3: Hier geht es zur Schulleitung, links ist eine Büste von *Carl Strehl* zu sehen

Neben dem Allgemeinen Gymnasium umfasst die Ausbildung der *Carl-Strehl*-Schule noch die Berufsausbildung in den Fachrichtungen Wirtschaft und Verwaltung durch den integrativen Zweig eines Beruflichen Gymnasiums. Diese Form der Ausbildung unterscheidet

sich nur in der Oberstufe vom Allgemeinen Gymnasium. Sie vereinigt schulische Allgemeinbildung mit berufsorientierter Vorbereitung auf der Basis mehrerer Leistungsschwerpunkte wie EDV, Wirtschaft, Rechnungswesen oder auch Mathematik. Auch hier steht das Abitur als Ausbildungsziel im Vordergrund. Falls die Schüler nach der zehnten Jahrgangsstufe keine breite fachliche Ausbildung mehr erhalten möchten, so können sie nach erfolgreicher Beendigung der Mittelstufe eine zweijährige Ausbildung im Fachbereich Sozialwesen vorziehen, welche dann mit der Fachoberschulreife abschließt. Des Weiteren sind Ausbildungen in einer integrativen Berufsschule für Informatikkaufleute, sowie in einer integrativen Berufsfachschule für Assistentenberufe und Fremdsprachensekretären möglich. Innerhalb der Klassen wird den Schülern durch die recht kleinen Lerngruppen, in denen maximal zwölf Schüler gleichzeitig unterrichtet werden, eine optimale Betreuung geboten. So können die unterschiedlichsten Arbeitstechniken berücksichtigt werden und das Arbeitstempo individuell angepasst werden. Auch die Einrichtung des eigenen Arbeitsplatzes wird auf die persönlichen Bedürfnisse eines jeden Schülers zurechtgeschnitten. Hierunter fallen die im Unterricht unbedingt erforderlichen Hilfsmittel zu denen an späterer Stelle noch Bezug genommen wird (**vgl. Kapitel 3.1 Der computergestützte Unterricht**).



Bild 2.4: Das Anton-Kerschensteiner-Haus

Neben der Schulausbildung und den oben erwähnten Wohnmöglichkeiten bietet die *Deutsche Blindenstudienanstalt e.V.* in Marburg den Sehgeschädigten weitere Angebote, wie etwa die ganztägige Verköstigung der Schüler über einen eigenen Speisesaal mit zugehöriger Cafeteria, die *Deutsche Blinden-Bibliothek* zur Weiterbildung, sowie ein eigenes Medienzentrum für die Erstellung der im Unterricht einzusetzenden Materialien auf taktiler Basis und sogar ein eigenes Elektroniklabor zur Entwicklung blindengerechter Hilfsmittel, sowie Reparatur und Instandhaltung der vorhandenen Computer- und Notebookarbeitsplätze. Um sich im Lebensalltag orientieren zu können bietet die *Carl-Strehl-Schule* zudem ein **Orientierungs- und Mobilitätstraining** an, in welchem die Schüler angeleitet von Rehabilitationslehrern ganz alltägliche Dinge wie etwa die Orientierung auf dem Gehweg oder im Supermarkt und andere lebenspraktische Fertigkeiten erlernen, die dann z.B. in der Eigenständigkeit der Wohngruppen und auch im weiteren Leben über die Ausbildung der *Blindenstudienanstalt* hinaus Anwendung finden. [8]

2.2 Die Lerngruppe

Die Lerngruppe, an welcher der vorliegende Unterrichtsentswurf getestet wurde, ist die **11 AG 03** der *Carl-Strehl-Schule* in Marburg im zweiten Halbjahr des Schuljahres 2005/06 im Zeitraum vom 13.03.2006 bis 30.05.2006. Der Chemiekurs besteht aus vier Schülerinnen und vier Schülern, wobei die Hälfte der acht Gruppenmitglieder blind und die andere Hälfte mehr oder weniger stark sehbehindert ist. Die Gruppe wird seit Anfang des Schuljahres von Herrn *Dr. Liese* betreut. Das Verhältnis zwischen Lerngruppe und Lehrer ist sehr gut und die Lernatmosphäre ist positiv zu bewerten. Vom Leistungsniveau ist die Lerngruppe eher durchwachsen. Es gibt zwei bis drei Leistungsträger, hingegen genauso viele leistungsschwache Schüler. Die soziale Integration des Einzelnen innerhalb der Lerngruppe ist zufriedenstellend, kann allerdings aufgrund der Kürze des beschriebenen Lernzykluses vom Autor nicht hinreichend beurteilt werden. Zu Anfang des zweiten Halbjahres der elften Jahrgangsstufe wurden die wichtigsten Säure-Base-Theorien als größeres Kapitel in der Anorganischen Chemie behandelt und abgeschlossen. Die Einführung in die Organische Chemie bietet nun auch den Schülern, welche sich während der anorganischen Thematik nicht so sehr mit dem Fach Chemie identifizieren konnten, die Chance, diese Naturwissenschaft aus einem neuen Blickwinkel zu entdecken, um somit Spaß an chemischen Phänomenen zu bekommen. In dieser Lerngruppe wurde der vom Autor vorgestellte Unterrichtsentswurf in der Praxis ausgetestet, die Ergebnisse sind in der didaktischen Betrachtung zu den jeweiligen Stunden aufgeführt (vgl. **Kapitel 6 ff.**).



Bild 2.5: Die 11 AG 03 der Carl-Strehl-Schule im Schuljahr 2005/06

Eine Klausur schloss die durch viele Stundenausfälle gestörte Hospitationsphase am 30.05.2006 ab. Die Ausfälle waren unter anderem durch Osterferien, Klassenfahrten und verschiedenen Klausurterminen in anderen Fächern bedingt (vgl. **Kapitel 16 Zur praktischen Durchführung des Unterrichtsentwurfs**).

3 Hilfsmittel zur Umsetzung des Chemieunterrichts in Blindenschulen

3.1 Der computergestützte Unterricht

Die Arbeit mit dem Computer ist in den naturwissenschaftlichen Fächern aufgrund der Nutzung von **Textverarbeitung** und **Analysensoftware** für Schüler zu einem festen Bestandteil des Unterrichts bzw. der Unterrichtsnachbereitung geworden. Das Textverarbeitungsprogramm *MS-Word*TM für die Erstellung von nachbereitenden Versuchsprotokollen und der Einsatz von Digitalmultimetern mit integrierter Computerschnittstelle für die Aufzeichnung und Auswertung chemischer Beobachtungen mittels Softwareunterstützung (*ALL-CHEM-MISST*TM oder *Chemex*TM) sind hier als Favoriten für den mediengestützten Unterricht zu nennen. Für blinde und sehbehinderte Schüler ist die Arbeit mit dem Computer nicht nur eine zusätzliche Medienunterstützung innerhalb des Unterrichts. Es ist zudem ein unerlässliches Hilfsmittel, um am gemischten Unterricht mit annähernd denselben Chancen wie „normale“ Schüler teilnehmen zu können.

So erarbeiten sich die sehgeschädigten Schüler den Stoff des Chemieunterrichts der *Carl-Strehl*-Schule in Marburg schon seit vielen Jahren unterrichtsbegleitend an komplett ausgestatteten **Computerarbeitsplätzen** und das mit großem Erfolg. *MS-Word*TM als Textverarbeitungsprogramm zur Erfassung von Unterrichtsinhalten ist hier aufgrund der Kompatibilität mit *Windows*TM-Systemen, welche man im Vergleich zu anderen Plattformen wie z.B. *Linux*TM an den Schulen häufiger antrifft, als notwendig einzustufen, um den blinden und sehbehinderten Schülern die Chance der aktiven Teilnahme am Unterricht zu ermöglichen. Dieses Programm stößt jedoch, wenn es zur Erstellung von **Formeln** und **Gleichungen** benötigt wird, schnell an seine Grenzen. Hier müssen dazu notwendigerweise spezielle Programme eingesetzt werden, wie etwa der *Formeleditor* von *Windows*TM oder *Mathtype*TM für *MS-Word*TM, um chemische Gleichungen in naturwissenschaftlich korrekter Form erstellen zu können. Doch diese Programme erfordern meist den Einsatz eines zusätzlichen Steuergerätes wie der **Computer-Maus**. Blinde und sehbehinderte Schüler können diese nur schlecht oder gar nicht bedienen. Abhilfe schafft da der Einsatz von Programmen, welche nur mit der Tastatur über den Einsatz verschiedener **Makros** bedient werden können. Auch die eingesetzten Hilfsmittel wie etwa **Vergrößerungsprogramme** (z.B. *ZoomText*TM oder *Magic*TM) sowie **Screenreader** (z.B. *Jaws*TM für *Windows*TM) sind oft nicht ganz kompatibel mit den üblichen Computerprogrammen zur Erstellung naturwissenschaftlicher Dokumente, sodass diese Hilfsmittel ohne speziell für Sehgeschädigte entwickelte Hilfsprogramme nur

bedingt brauchbar eingesetzt werden können. Bei Einsatz des Screenreaders *Jaws*TM für *Windows*TM gibt es in Kombination mit den oben genannten Formelprogrammen zudem keine Möglichkeit, eine flächige Formeldarstellung auslesen zu lassen.

Seit dem Jahr 2000 verfügt die *Carl-Strehl*-Schule in Marburg über acht neu installierte Computerarbeitsplätze für Schüler, welche über eine großzügige Spende der *Waltraut- und Sieglinde-Hildebrandt-Stiftung* (Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft) finanziert wurden. Wie in **Kapitel 1.5** bereits angedeutet, wurden vor der Einrichtung der Computerarbeitsplätze die Mitschriften der Unterrichtsstunden von blinden Schülern über *Braille*-Tafeln oder Punktschriftmaschinen erstellt. Sehbehinderte Schüler erstellten parallel dazu ihre Mitschriften per Hand in großer und meist sehr unleserlicher Schrift, sodass sie bis dato während der Unterrichtsnachbereitung nur unter großem Aufwand mit Hilfe von Lupen in der Lage waren, aus ihrer eigenen Handschrift den vorliegenden Stoff zu identifizieren. [9] Deshalb wurde es im Laufe des Computerzeitalters immer dringlicher, vom klassischen Tafelunterricht auf einen **computergestützten Unterricht** umzusteigen.



Bild 3.1: Die neuen PC-Arbeitsplätze des Chemieraums 1

Die Arbeitsplätze des Chemieraums 1 der *Carl-Strehl*-Schule sind für den Unterricht blinder und sehbehinderter Schüler multimedial hinreichend ausgestattet und können über ein **Netzwerk-System** von einem Master-Rechner aus, welcher vom Lehrer selbst bedient wird, gesteuert und verwaltet werden. Die gesamte Netzwerk-Umgebung wird von einem **PC-Wächter** aus dem Hause *Dr. Kaiser Systemhaus GmbH* gesichert. Dieser schützt bestimmte Partitionen auf der Festplatte und verhindert unerlaubte Manipulationen von außerhalb. System- und Desktop-Einstellungen werden in einer gesicherten Datei gespeichert, sodass für jeden Rechner nach dem Neustart wieder die optimierten Standard-Werte vorliegen. So kann verhindert werden, dass sehgeschädigte Schüler bei falscher Bedienung des Computers, durch welche sich eine Änderung des Systems einstellen würde, diesen ohne Hinsicht auf sofortige Wiederherstellung der alten Konfiguration verstellen können. [10] Ein weiterer Vorteil der neu eingerichteten Arbeitsplätze ist der Einsatz von **TFT-Monitoren**, welche aufgrund ihrer guten Auflösung und der kontrastreichen Darstellung die bislang beste Grundlage für die Arbeit sehbehinderter Schüler am Computer bilden. Zudem können diese Monitore aufgrund ihrer geringen Gewichtes und ihrer platzsparenden Größe leichter als normale Röhrenmonitore in eine für sehbehinderte Schüler ergonomisch optimale Position gerückt werden. Jeder PC-Arbeitsplatz besitzt eine vollständige **Multimedia-Ausstattung**, sodass z.B. eine Soundkarte mit angeschlossenen Kopfhörern oder auch ein Grafik-Tablett zum Zeichnen von Formeln genutzt werden können. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, das **Internet** als Informationsquelle zu nutzen. Im Folgenden sollen die wichtigsten Programme im medienunterstützten Chemieunterricht in Blindenschulen am Beispiel der *Carl-Strehl*-Schule vorgestellt werden.

a) **MasterEye 3.0 XL™**

Das Programmpaket *MasterEye 3.0 XL™* der Firma *MasterSolution™* bietet dem Lehrer unverzichtbare Möglichkeiten zur Betreuung der Lerngruppe im Laufe eines computer-gestützten Unterrichts. Von den Schülern erstellte *MS-Word™*-Dokumente und andere Bildschirmhalte können direkt von einem Master-Rechner über einen integrierten *Supervision*-Modus auf alle beliebigen Rechner des Netzwerks übertragen werden. Zudem besteht für den Lehrer vom Master-Rechner aus die Möglichkeit, im *Demo*-Modus alle Bildschirmhalte selbst einzusehen und gegebenenfalls über den *Remote*-Modus erstellte Dokumente zu manipulieren. Auf diese Weise entfällt das lästige und sehr zeitraubende Herumlaufen des Lehrers zur Überprüfung der Richtigkeit der von Schülerseite übernommenen Lernplattformen. [11] Außerdem kann der Lehrer den im Netzwerk befindlichen Schülern von seinem

Rechner aus bei gleichzeitiger Maus- und Tastensperre eigene Bildschirminhalte demonstrieren, was ihm somit ein ungehindertes Vorführen ermöglicht.



Bild 3.2: Die Funktionsleister von MasterEye 3.0 XL™

Das ist sehr nützlich, um etwa Vorgänge während eines Experimentes über ein Kamera-System, welches mit dem Master-Rechner verbunden ist, auf alle Bildschirme der PC-Arbeitsplätze zu übertragen (**vgl. Kapitel 3.1 d) Das Kamera-System**).

b) Der Screenreader - Jaws™ für Windows

Der Screenreader **Jaws™ für Windows™** der Firma *Henter-Joyce inc.* ist eine Software zur Umwandlung von Dokumenten und anderen Bildschirminhalten in **Sprache** und **Braille-Schrift**. Ein Screenreader ersetzt sozusagen den sehenden Vorleser, der seinem blinden Kollegen kontinuierlich die Veränderung des Bildschirminhaltes mitteilt. Hierbei bezieht diese Software alle Informationen direkt von den in *Windows™* beteiligten Hardware-Komponenten. Die Dauer dieses Vorgangs beträgt dabei nur Bruchteile einiger Millisekunden; man kann sagen, dass *Jaws™* sich in Echtzeit selbst aktualisiert. Es entsteht so ein fortwährender Dialog zwischen dem sehgeschädigten Benutzer und *Windows™*, wobei *Jaws™* in einer vermittelnden Stellung zwischen beiden steht. Die Programmierung eines Screenreaders ist sehr komplex, da der Programmierer individuell auf kleinste Veränderung verschiedener Programme während des Betriebs der *Windows™*-Oberfläche reagieren muss. Deshalb kann es zu großen Problemen in der Zusammenarbeit mit neuen Programmen kommen. Diese müssen durch ständige Updates des Screenreaders seitens des Lehrers behoben werden, was aufgrund der Häufigkeit dieses Vorgangs sehr mühsam ist. Auf Basis eines mehrsprachigen synthetischen Sprachinterpreters für den europäischen sowie den

angloamerikanischen Sprachraum, wird so den blinden Benutzern das Auslesen der Bildschirmoberfläche und aller Windows™-kompatiblen Programme (kompatible Windows™-Versionen: 95/98/ME/NT/2000/XP) wie z.B. *Explorer™*, *MS-Word™* und verschiedene Internetbrowser ermöglicht. Ein integriertes Wörterbuch für die verschiedensten Sprachen sorgt je nach geladener Sprachausgabe für eine saubere und klare Aussprache von Bildschirminhalten. Dabei kann die Textsprache in *Jaws™* je nach Vorlage individuell eingestellt werden, um die Ausgabe in sprachlich-akustische Signale zu optimieren. [12]

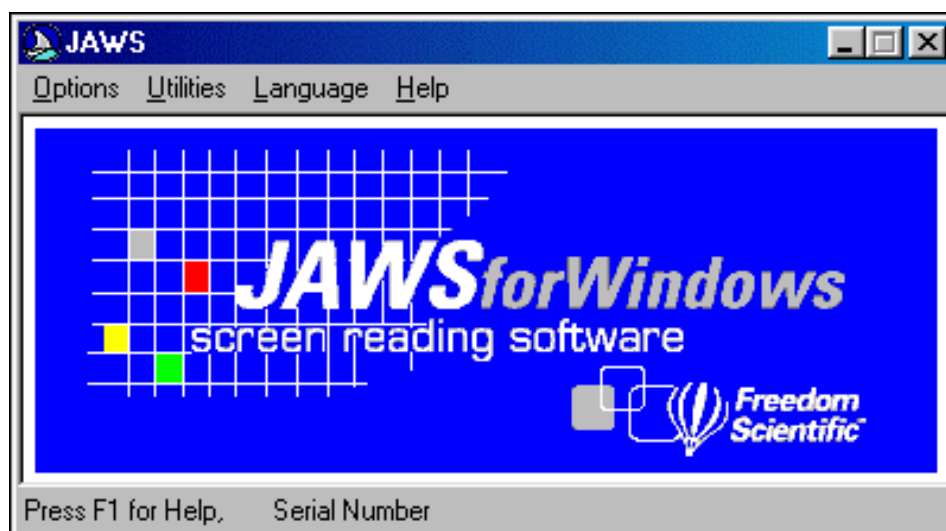


Bild 3.3: Die selbsterklärende Benutzeroberfläche von Jaws™

Die im Programmumfang enthaltene Sprachausgabe *Eloquenz™* bietet eine eher abgehackte Sprachausgabe und man fühlt sich, als würde man von einem Roboter unterrichtet. Besser macht es da der *VoiceReader™* der Firma *linguatec Sprachtechnologien™*, dessen Sprachausgabe in Zusammenarbeit mit dem Screenreader *Jaws™* um einiges menschlicher wirkt. [13] Über spezielle Eingabemasken kann die Sprachausgabe des Programms sehr fein eingestellt werden. Eingesprochene Texte werden vom Programm übernommen und dann in exakter Sprechweise ausgegeben. So hat Herr *Georg Bender*, ausgebildeter Radio- und Fernstechniker und derzeit bedienstet im Elektroniklabor der *Carl-Strehl-Schule*, in welchem auch Herr *Dr. Werner Liese* forscht, durch Spracheingabe über ein Digitalmultimeter das Programm *VoiceReader™* in Zusammenarbeit mit dem Formelzusatz *LiTeX* soweit für den Chemieunterricht der Schule verbessert, dass man die künstliche Sprachausgabe komplizierter Formeln fast nicht mehr von einem menschlichen Vorleser unterscheiden kann.

An dieser Stelle sei noch die einfache und sehr überschaubare Benutzeroberfläche von *Jaws*TM zu loben, die auch blinden Schülern eine relativ einfache Benutzung gewährleistet. Das Programm ermöglicht so die Arbeit mit komplexeren Formularen wie größeren Tabellen oder strukturierten Internetseiten aufgrund einer vereinfachten Umstrukturierung verschachtelter Textinformation. Die hohe Kompatibilität mit den anderen im Unterricht der Blindenschulen eingesetzten soft- und hardwarebasierten Hilfsmitteln, macht *Jaws*TM als üblichen Screenreader zu einem unerlässlichen Gegenstand in der blindenpädagogischen Ausbildung. Auch Satzzeichen, weitere spezielle Zeichenelemente und andere Satzkonstruktionen werden von *Jaws*TM sehr verständlich wiedergegeben, sodass wirklich der Text als solcher, mit all seiner Spezialitäten ungetürkt in Sprache übersetzt wird. Die Formelvorlage *LiTeX* bietet zudem die gesamte Wiedergabe von Formelausdrücken mittels des Screenreaders über spezielle Eingabestrukturen für blinde Benutzer, die dann auf die *Braille*-Zeile oder per Soundausgabe ausgegeben werden kann.

c) Vergrößerungssoftware im gemischten Unterricht

Um den sehbehinderten Schülern die Arbeit während der Sicherungsphasen im Chemieunterricht zu ermöglichen, ist es ratsam spezielle Vergrößerungssoftware einzusetzen. Zum einen leistet die **WindowsTM-Lupe** gute Dienste zum Vergrößern von Bildschirminhalten jeglicher Art. Sie ist in den neueren Versionen ab *Windows*TM 98 enthalten und muss demnach nicht zusätzlich gekauft werden. Jedoch muss sie meist rückwirkend von der *Windows*TM-Installations-CD im Betriebssystem manuell integriert werden.

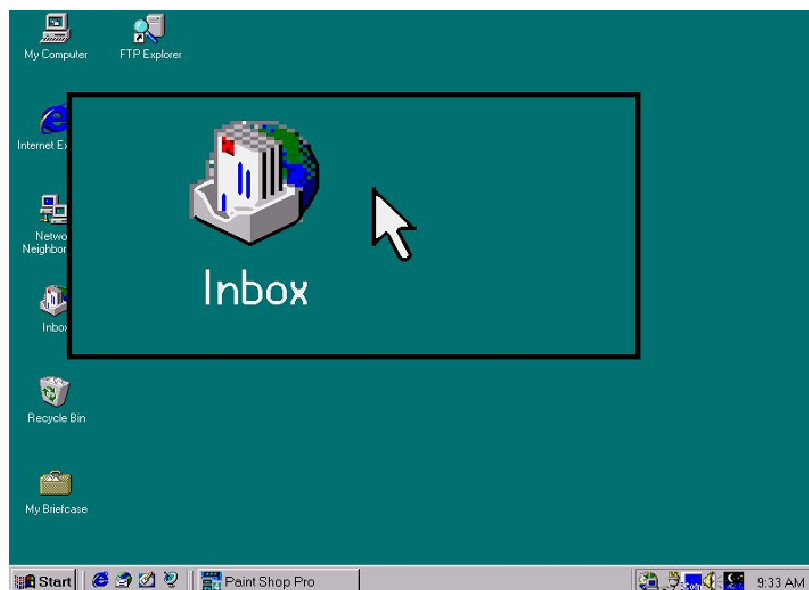


Bild 3.4: Die *Windows*TM-Lupe in Aktion

Diese Methode ermöglicht eine Vergrößerung des Bildschirminhalts von bis zu 500 %. Dabei wird die Seitenbreite von Texten stark erweitert, was man auch zur gleichzeitigen Darstellung mehrerer Seiten auf dem Monitor nutzen kann. Neben vielen anderen Vergrößerungsprogrammen sollen zwei weitere, in der *Carl-Strehl*-Schule seit langem bewährte Software-Pakete zur Vergrößerung von Bildschirminhalten vorgestellt werden, welches neben der eigentlichen Vergrößerung von Bildschirminhalten zusätzliche Funktionen ermöglichen. Mit dem Programm *MAGic*TM der Firma *Henter-Joyce inc.* ist es möglich, durch eine komfortable **Shortcut-Steuerung** verschiedenste Einstellungsmöglichkeiten bezüglich der Vergrößerungsart zu treffen. So können sehbehinderte Schülern mit Hilfe dieses Programms den Bildschirminhalt waagrecht oder senkrecht aufteilen, um somit mehrere Programme nebeneinander in vergrößerter Darstellung zu bedienen. Bei der Vergrößerung von Dokumenten hilft die integrierte Kantenglättung zur optimalen Darstellung von Texten bei höchster Vergrößerung von bis zu 1600 % der Originale. Im Vergleich zur *Windows*TM-Lupe besticht *MAGic*TM selbst bei höchstem Vergrößerungsfaktor durch eine viel bessere Auflösung. Zusätzlich können die vergrößerten Objekte zur besseren Sichtbarkeit aus Kontrastgründen invertiert werden, was für einige Sehgeschädigte mit bestimmten Sehhinderungsformen sehr wichtig sein kann.. Eine für die Bedienbarkeit hilfreiche Zusatzfunktion ist die individuelle Umstrukturierung des *Windows*TM-Mauszeigers, der zur besseren Sichtbarkeit als Fadenkreuz dargestellt werden kann. Die Kompatibilität mit anderen Programmen ist jedoch eher bescheiden, sodass eine genaue Voreinstellung des Systems erforderlich ist. In der Praxis der *Carl-Strehl*-Schule, in der eine Schullizenz des Programms auf allen Rechnern installiert ist, wurde im Laufe des Einsatzes mehrere schwerwiegende Programmabstürze während des Chemieunterricht beobachtet, was natürlich den Unterrichtsbetrieb sehr aufhalten kann. Gerade in Verbindung mit *MS-Word*TM und dem eingesetzten Screenreader *Jaws*TM ist diese Inkompatibilität auffällig, wobei erwähnt sein muss, dass ein Screenreader unabdingbar zum Auslesen von Hilfetexten oder Symboltexten des **Hotspots** (Mauszeiger-Position) ist, um die Inhalte für Sehbehinderte auditiv wiederzugeben. [14]

Ergiebiger ist das in der *Carl-Strehl*-Schule bisher nur angetestete Vergrößerungsprogramm *ZoomText*TM der Firma *Ai Squared*TM, welches vor allem in Sachen Funktionsumfang und Darstellung, sowie in der Kompatibilität mit Screenreadern, Textverarbeitungsprogrammen und Analysesoftware den vorher genannten *MAGic*TM um Längen überlegen ist. Die Anschaffung einer Schullizenz übersteigt mit etwa 2000 Euro (im Vergleich zu 700 Euro für die *MAGic*TM-Netzwerk-Lizenz) jedoch selbst das Budget einer Privatschule um Längen, weshalb in der *Carl-Strehl*-Schule dieses Programm derzeit noch nicht eingesetzt werden

kann. [15] Der Nachteil aller genannten Vergrößerungsprogramme ist, dass sehbehinderte Schüler bei Vergrößerung eines Textes immer auf die Bedienung der Bildlaufleiste angewiesen sind. Das kann schnell zu einer Orientierungslosigkeit im laufenden Dokument führen.

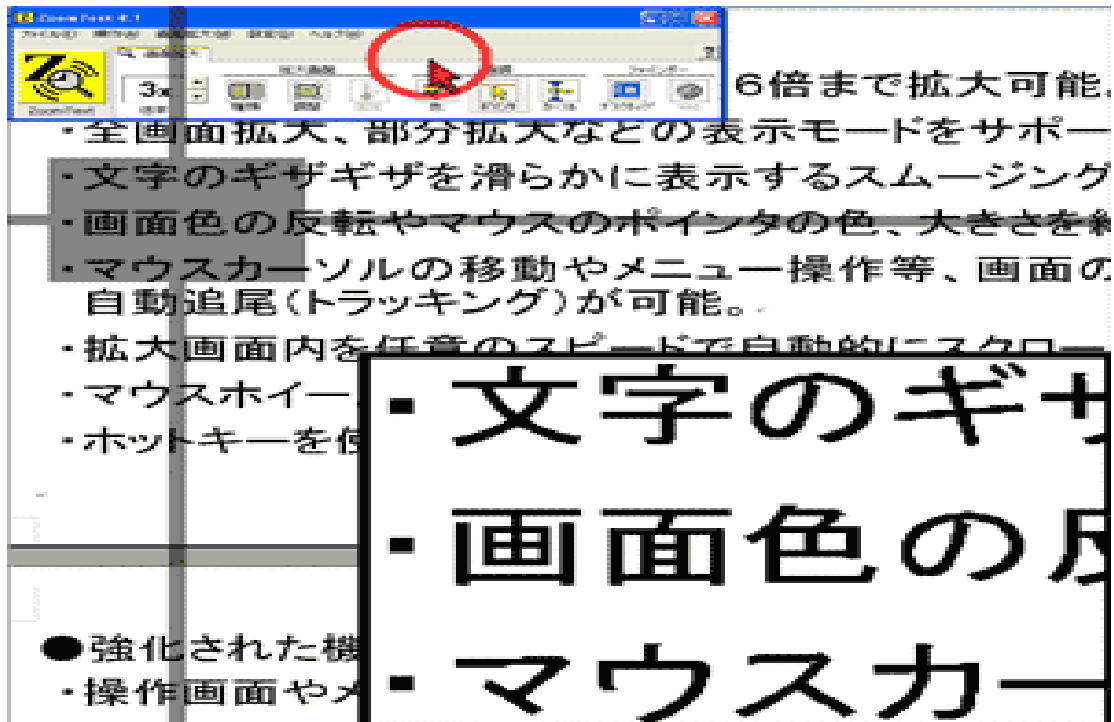


Bild 3.5: Die Vergrößerung eines schwierig zu lesenden Textes über ZoomText™

Um einen Textumbruch am Fenster in *MS-Word*™ zu erreichen, müssen die Schüler auf die Zoomfunktion des Programmzusatzes *LiTeX* zurückgreifen (vgl. **Kapitel 3.2 LiTeX - Eine Formelvorlage für MS-Word**™).

d) Das Kamera-System

Im Chemieunterricht der *Carl-Strehl*-Schule werden verschiedene Kamera-Systeme während der Durchführung von Schulversuchen eingesetzt, um sehbehinderten Schülern die Beobachtungen während der Experimente zu erleichtern oder erst zu ermöglichen. Zum einen dient eine **Kamera mit aufgesetztem Objektiv** und somit großer Zoomfunktion zur Übertragung kleinster Objekte, wie etwa bei der Verbrennung des Industriediamanten im Sauerstoffstrom (vgl. **Anhang 21.2**).



Bild 3.6: Kamera mit großem Objektiv

Nachteilig bei dieser Art der Bildübertragung ist der relativ große Platz, den diese Kamera einnimmt. Es ist für den Lehrer zum Teil sehr hinderlich, wenn die große Montierung dieser Kamera, den Weg zum eigentlichen Versuchsaufbau verdeckt.

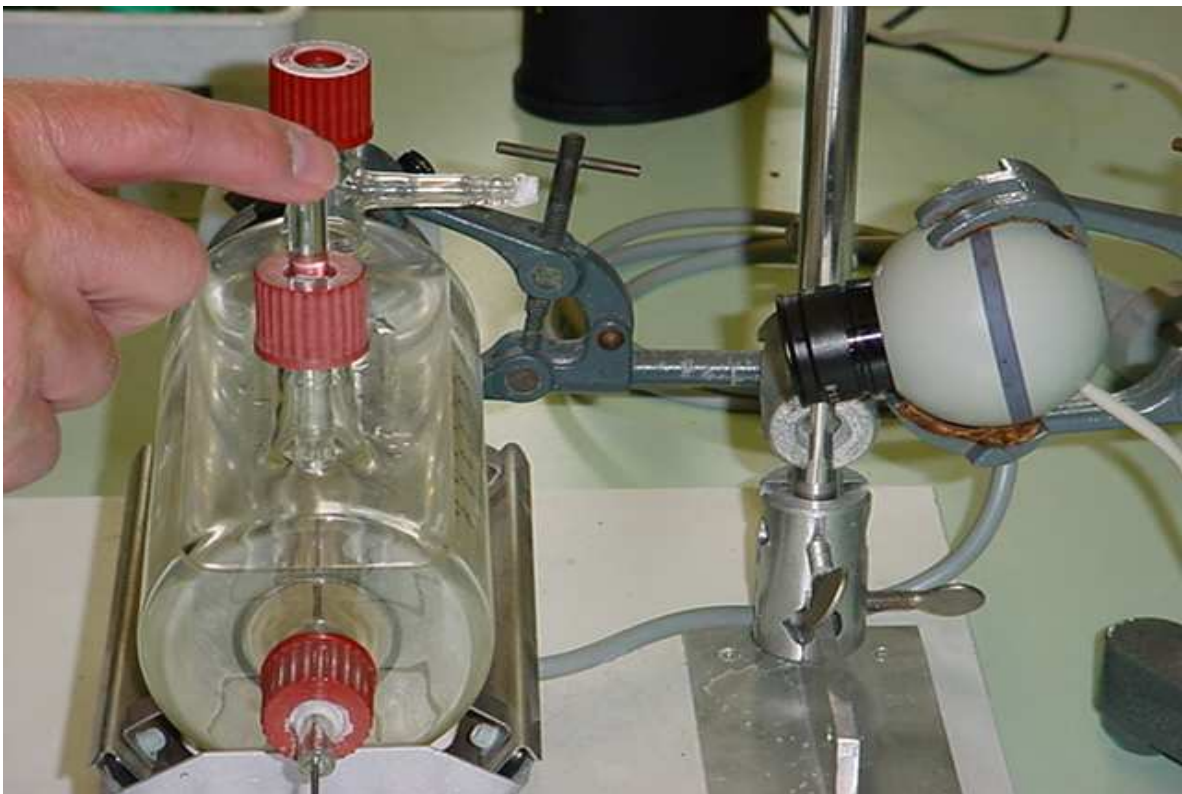


Bild 3.7: Eine Webcam als platzsparende Variante

Besser macht es da die sehr kleine **Webcam**, welche aufgrund der sehr hohen Auflösung fast genauso detailliert und farbtreu selbst kleinste Objekte darzustellen weiß. Diese Kamera wurde während der Hospitationsphase an der *Carl-Strehl*-Schule bei der Einführung der Organischen Chemie am häufigsten eingesetzt. Für Aufnahmen aus anderen mit den vorher beschriebenen Kamera-Systemen nicht so leicht zu erreichenden Perspektiven, ist der Einsatz einer **Schwenkarmkamera** sehr hilfreich, welche mit ihrem langen Winkelschwenkarm sogar die Aufnahme von Beobachtungsphänomenen aus der Vogelperspektive ermöglicht. Natürlich sind all diese Kamera-Systeme nichts ohne eine geeignete Software-Unterstützung einzusetzen. Hier kann man als Lehrer einfache Photo-Library-Programme einsetzen, welche über eine Webcam-Wiedergabe-Funktion verfügen. Viele Freeware-Tools bieten eine solche Funktion, wie etwa *ACDSee*TM, *PhotoFinder*TM oder *PhotoSuite*TM. Die Übertragung des aufgenommenen Echtzeitbildes erfolgt dann über eine Schnittstelle zum Master-Rechner und kann dann über die Supervision-Funktion von *MasterEye*TM auf alle angeschlossenen PC-Arbeitsplätze übertragen werden.



Bild 3.8: Eine mobile Schwenkarmkamera

3.2 *LiTeX* – Eine Formelvorlage für *MS-Word*TM

Im Folgenden soll, wie in **Kapitel 3.1** bereits angedeutet, ein spezieller *MS-Word*TM-Programmzusatz zur Erstellung naturwissenschaftlicher Texte im Chemieunterricht vorgestellt werden, der es blinden und sehbehinderten Schülern ermöglicht, ohne größere

Probleme verschiedenste Formeldarstellungen am Computer zu erstellen. **Dr. Werner Liese**, Oberstudienrat an der *Carl-Strehl-Schule* in Marburg, dem größten Gymnasium für blinde und sehbehinderte Schüler im deutschsprachigen Raum, entwickelte in mehrjähriger Arbeit den Programmzusatz *LiTeX* für *MS-Word*TM in den Versionen 97, 2000 bis 2003. Auf der Basis von *Microsoft*TM - *Visual Basic for Applications (VBA)* wurde dieses Add-In speziell für den Einsatz in einem *MS-Word*TM-unterstützten Unterricht optimiert. *LiTeX* ermöglicht die Erstellung von einzeiligen Quelltexten ähnlich wie der bekannte Formelinterpreter *LaTeX*, welcher seit Anfang der achtziger Jahre bei der Erstellung von naturwissenschaftlichen Formelausdrücken mit Hilfe des Computers im Einsatz ist. Die Entwicklung des Programmzusatzes als **Formelvorlage** für *MS-Word*TM ermöglicht es, alle Befehle eines integrierten Formeleditors über die Tastatur fast in Echtzeit im laufenden Unterricht, wie im eigenen Schulheft, mit zu dokumentieren. Dieses war vorher nur durch die Hoch- und Tiefstellvorrichtung von *MS-Word*TM oder mit Hilfe des *Formeleditors*, in zeitaufwendiger Kleinstarbeit möglich, die jedoch beide auf einer mausgesteuerten Benutzeroberfläche basieren. Durch die Kombination von Autotext-Einträgen, Feldfunktionen und mehreren hundert Makros wird es dem Benutzer so möglich, Formeln flächig direkt in *MS-Word*TM zu implementieren. Es sei erwähnt, dass es den blinden Schülern vor der Entwicklung von *LiTeX* verwehrt war, naturwissenschaftliche Formelausdrücke mit Hilfe des *Formeleditors* von *Windows*TM zu erstellen, da dieser wie viele andere *Windows*TM-Programme rein mausorientiert gesteuert wird. Zudem standen den Benutzern von Computern früher lediglich die in *MS-Word*TM integrierte und nur bedingt nutzbare einfache **Hoch- und Tiefstellung**, sowie nur leicht **improvisierte Reaktionspfeile** (--->) zur Erstellung flächiger Formelausdrücke zur Verfügung. Der Leser wird sich fragen, ob es nicht ausreichend wäre, auf die altbewährte *LaTeX*-Engine zurückzugreifen. Doch für sehbehinderte und blinde Schüler bringt *LaTeX* erhebliche Schwierigkeiten im Unterricht mit sich. In dieser Arbeit wird auf die Funktionsweise, sowie auf Vor- und Nachteile von *LaTeX* im Vergleich zu *LiTeX* nicht weiter eingegangen. Allgemeine Schwierigkeiten sollen dennoch an dieser Stelle beleuchtet werden, um damit die Stärken des Programmzusatzes *LiTeX* anhand von Beispielen aufzuzeigen. Der Lehrer sei im Vorfeld vor der Masse der Funktionen der Formelvorlage gewarnt. Es bedarf einiger Zeit, bis man sich der Komplexität von *LiTeX* bemächtigt hat. Deshalb sollte der Lehrer vor dem ersten Einsatz von *LiTeX* eine Einführung in diesen Programmzusatz für die Klasse vorbereiten. Gerade blinde und sehbehinderte Schüler sollten nur ganz allmählich mit den verschiedensten Formelschreibweisen der Chemie vertraut gemacht werden. Aufgrund von selbsterklärenden Befehlsstrukturen und einfachster Makrobedienung des Programms ist das Erlernen der Formelsprache in *LiTeX* jedoch kein großes Hindernis, weder für den geübten *MS-Word*TM-Benutzer, noch für den Laien. Die im Programmzusatz integrierte

allgemeine **Hilfsfunktion** im *LiTeX*-Hauptmenü, sowie die speziellen Hilfstexte zur Hoch-Tief-Stellung in der Chemie und zu den Feldfunktionen erweisen sich dabei als äußerst nützlich. Es sei erwähnt, dass trotz der Fülle an Funktionen die Anzahl der Befehle von *LiTeX* (>350) nicht an die über 900 Einzelbefehle seines Pendant *LaTeX* heranreicht. Die von Herrn Dr. Liese ab September 2001 kontinuierlich weiter entwickelte Formelvorlage ist kompatibel zu allen Hilfsprogrammen, welche von blinden und sehbehinderten Schülern eingesetzt werden. So können die im Unterricht eingesetzten Hardware-*Braille*-Zeilen, aber auch Vergrößerungsprogramme wie *ZoomText*TM oder *MAGic*TM und Screenreader wie z.B. *Jaws*TM für *Windows*TM parallel zu *LiTeX* ohne größere Komplikationen genutzt werden. Durch den Einsatz des Programmzusatzes im Unterricht wird den blinden und sehbehinderten Schülern das Erstellen von Formeln und Gleichungen ohne größere zeitliche Einschränkungen gegenüber anderen nicht-sehgeschädigten Schülern ermöglicht. Die gute Handhabbarkeit liegt vor allem daran, dass alle Befehle des Programms per Tastaturkürzel oder aus einem umfangreichen **Katalog** heraus aktiviert werden können. Über 300 Befehle sind allein in das Katalogsystem der neusten Version 4.12 (Stand: 15.05.2006) implementiert worden. Mit Hilfe der Suchfunktion des Katalogs mit integrierter Auto-Vervollständigung der Befehlsausdrücke wird es dem Nutzer so möglich, neben kleineren Formatierungsbefehlen auch große Formelausdrücke, wie etwa einen mathematischen Bruch, binnen weniger Sekunden zu erstellen. Blinde und sehbehinderte Schüler, welche schon anfänglich bei der Einführung der Computerbenutzung das Zehn-Finger-System erlernen, können sich neben der Nutzung des Katalogs in die Eingabe von Tastaturkürzeln in schneller Zeit ohne große Mühe einarbeiten und auf beide Methoden während des Unterrichts zurückgreifen. Ein weiterer großer Vorteil beim Erstellen einer Formel ist die **WYSIWYG**-Ausgabe (**What You See Is What You Get**) des Programms. So können sehbehinderte Anwender sofort auf dem Bildschirm erkennen, was sie nachher auch als Schwarzdruck erhalten. Bei Verwendung des Programms *LaTeX* müsste der Lehrer immer wieder die komplizierten Interpreterzeilen korrigieren, da die auf Englisch erstellten Befehlsmuster nur schwer oder gar nicht für den Schüler lesbar sind. Weitere Diskussionspunkte der *LaTeX*-Engine sind in den Publikationen von Herrn Dr. Liese aus dem Jahr 2003 und 2006 einzusehen, worauf der Autor an dieser Stelle nur verweist, ohne näher auf den Vergleich zwischen *LaTeX* und *LiTeX* einzugehen. [16,17]

In diesem Abschnitt soll anhand einiger Beispiele die Arbeit mit der Formelvorlage *LiTeX* im Organisch-Chemischen Unterricht aufgezeigt werden. Ein Beispiel hierfür wäre sicherlich die Erstellung einer Summenformel eines Alkans im laufenden Unterricht. Pentan hat bekanntlich die Summenformel C_5H_{12} . Bei hochgeladener Formelvorlage, können sehbehinderte Schüler die Erstellung dieser Summenformel mit Hilfe einfachster Makros im

Fließtext implementieren. Um innerhalb einer Summenformel die geschriebenen Ziffern in die Indexform zu bringen, startet man nach Eingabe der Zahlen einfach ein Makro per Tastaturkürzel, hier mittels **ALT** + **u** mit u für unten, die Hochstellung (oben) erfolgt analog mittels **ALT** + **o**. Für sehbehinderte Schüler ist dieses Vorgehen logisch und gut erlernbar. Die Eingabe lautet hier also wie folgt:

„C5 **ALT** + **u** H1 **ALT** + **u** 2 **ALT** + **u**“

Die Tiefstellung der "12" kann auch sehr schnell nach Markierung beider Ziffern durch Tiefstellung per Tastenkürzel **ALT** + **u** ausgelöst werden. Für Blinde eignet sich die Anwendung der Hoch/Tief-Stellung gemäß der *LaTeX*-Engine am besten, da alle Buchstaben und sogar ganze Wörter, in geschweifte Klammern gesetzt, durch einen Befehl hoch oder tief gestellt werden können. Die Tiefstellung etwa kann mit dem Befehl **ALT** + **s**, **SHIFT** + **-** erzeugt werden, wobei der Cursor von der Formelvorlage sofort zwischen den Klammern platziert wird. Der Befehl lautet dann bei Erstellung der Strukturformel von Pentan wie folgt:

„C_5H_{12} „

Nachteil an der „*LaTeX*“-Implementierung bei der Benutzung der nach *IUPAC* in chemischen Formeln unüblich gebrauchten geschweiften Klammern (vgl. [16]). In *LiTeX* kann zusätzlich die Funktion des Tiefstellens durch den Einsatz von Vorankündigungszeichen ausgeführt werden. So kann im gewählten Beispiel Pentan in folgender Weise geschrieben werden:

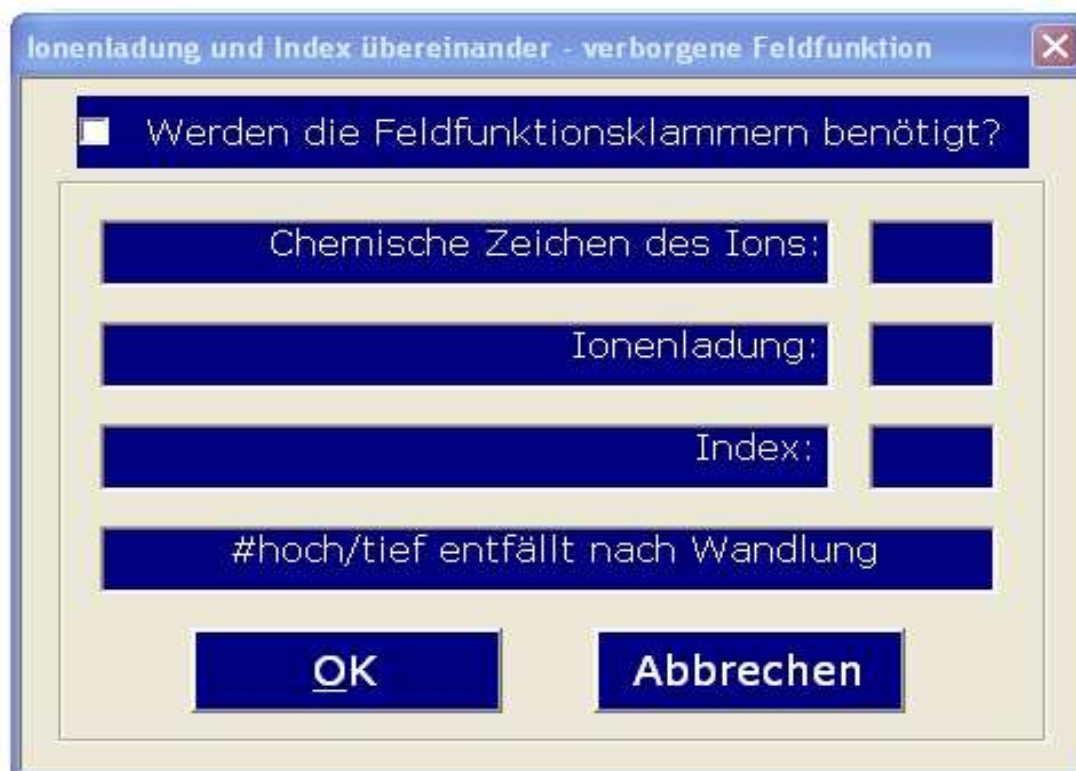
„C_5H_1_2“

Der spezielle Befehl **ALT** + **w** wandelt dann die Eingabe in eine umgesetzte lesbare Form nach *IUPAC* um. Dieser Befehl speichert zunächst die Eingabe des Anwenders ab und führt danach die Wandlung durch. So können sehende Anwender die Eingaben blinder Schüler nach Sicherung in einem zweiten Dokument leicht überprüfen. Da blinde Schüler ihre

Texte nur einzeilig schreiben, bietet sich hier der Shortcut **ALT** + **CTRL** + **P** an, der es den Schülern dann ermöglicht, das Textdokument in einer Aktion zu speichern, zu wandeln und zu drucken. Hierbei wird die Datei nach Abspeicherung aus Sicherheitsgründen automatisch geschlossen. m zusätzlich zur Tiefstellung eine Hochstellung von Zeichen zu erreichen, wie es z.B. bei ionogenen Ladungen der Fall ist, wählt man in *LiTeX* das Circumflexzeichen „^“. Das Beispiel des **C₂H₅⁺-Ions** zeigt, wie einfach und selbsterklärend das Zusammenspiel von Hoch- und Tiefstellung mit Hilfe der *LiTeX*-Engine ist:

„C₂H₅⁺ - Ion“

An dieser Stelle ist auch die Erstellung eines solchen Ausdrucks über die angebotene **Formularvorlage** des Programms zu erwähnen. Die Eingabe verschiedener Indizes nebeneinander wird so für Sehgeschädigte nochmals sehr erleichtert.



Ionenladung und Index übereinander - verborgene Feldfunktion

Werden die Feldfunktionsklammern benötigt?

Chemische Zeichen des Ions:

Ionenladung:

Index:

#hoch/tief entfällt nach Wandlung

OK Abbrechen

Bild 3.9: Eine der vielen Formularvorlagen in *LiTeX*

Nach Markierung der Feldfunktionsklammern erhält man dadurch eine optimierte Anordnung dieses ionogenen Moleküls, in dem die Ionenladung direkt über dem Index angeordnet wird:

„ $C_2H_5^+$ -Ion “

Auch in der Chemie häufig vorkommende Sonderzeichen können mit Hilfe von *LiTeX* durch blinde und sehbehinderte Schülern auf einfachste Weise erstellt werden. Die Sonderzeichentabellen sind für blinde Schüler nicht zugänglich, während Sehbehinderte nur unter großen Schwierigkeiten Zeichen in den Tabellen suchen und durch Anklicken in den laufenden Text integrieren können. So kann man zum einen wieder mit einfachen Tastaturkürzeln einen in chemischen Formeln vorkommenden Reaktionspfeil erstellen. Hierzu bedient man sich als sehbehinderter Schüler entweder des Makros für den Kurzpfeil, indem man diesen mit Hilfe des Shortcuts **ALT** + **pk** aktiviert. Der üblicherweise häufiger eingesetzte lange Reaktionspfeil kann über die Tastenkombination **ALT** + **pr** erstellt werden. Blinde Schüler können den Befehl Kurzpfeil über die Eingabe „**kp**“ mit folgender Betätigung der Taste **F3** in den laufenden Text als „**k-Pfeil**“ eingeben, der dann über die *Braille*-Zeile oder dem Screenreader als Kurzpfeil ausgelesen werden kann. In der neuesten Version von *LiTeX* ist es zudem möglich diese Befehle direkt aus den dafür vorgesehenen Katalogen zu laden. So können Sehbehinderte den Pfeil direkt über den **direkten Symbolkatalog** einbinden, der mit dem Befehl **ALT** + **sy** aktiviert wird. Blinde benutzen zur einzeiligen Einbindung von Formelausdrücken den indirekten Symbolkatalog, der mit dem Befehl **ALT** + **is** gestartet wird. Auf diese Weise erhalten sie dann den ausgegebenen Befehl „**#kp**“, der wieder mit den oben genannten Hilfsmitteln als „**Kurzpfeil**“ ausgegeben wird.

Auch andere Sonderzeichen wie z.B. das griechische Alphabet und Bindungszeichen lassen sich auf diese Weise erstellen. Die Symbole des Katalogs sind in **alphabetischer Reihenfolge** aufgelistet und können mit einfachen Handgriffen, in dem Fall mittels Eingabe des Anfangsbuchstabens des Sonderzeichens oder per Mausklick bzw. der **TAB**-Taste, ausgewählt werden. Auch Oxidationszahlen in chemischen Redox-Reaktionen oder Bruch- und Wurzelzeichen in der Stöchiometrie können, schneller als durch die Auswahl über die einzelnen Menus, über diesen Katalog erreicht werden. Andere Symboliken, wie z.B. die Reaktionspfeile chemischer Reaktionen können im Gegensatz dazu schneller mit einfachen Makro-Eingaben erstellt werden. So ist es blinden Schülern möglich, das griechische **klein-Alpha** (α) durch den Befehl „**#alpha**“ über den indirekten Symbolkatalog über die Eingabe von „**al**“ und anschließender Betätigung der Taste **ENTER** zu implementieren.

Für Sehbehinderte gibt es zusätzlich zur oben erwähnten Katalogfunktion den Shortcut **ALT** + **ga** für die Direkt Darstellung des Symbols „ α “. So wird dem Lehrer der organisatorische Ablauf des Unterrichts erleichtert, da sehgeschädigte Schüler genauso wie normal-sehende Schüler den vom Lehrer gesprochenen Text fast identisch und zeitgleich übernehmen können. Des Weiteren ist es möglich, diese Eingaben mit Hilfe eines Screenreaders wie *Jaws*TM für *Windows*TM durch ein für das Programm entwickeltes **Add-In** exakt auszulesen.

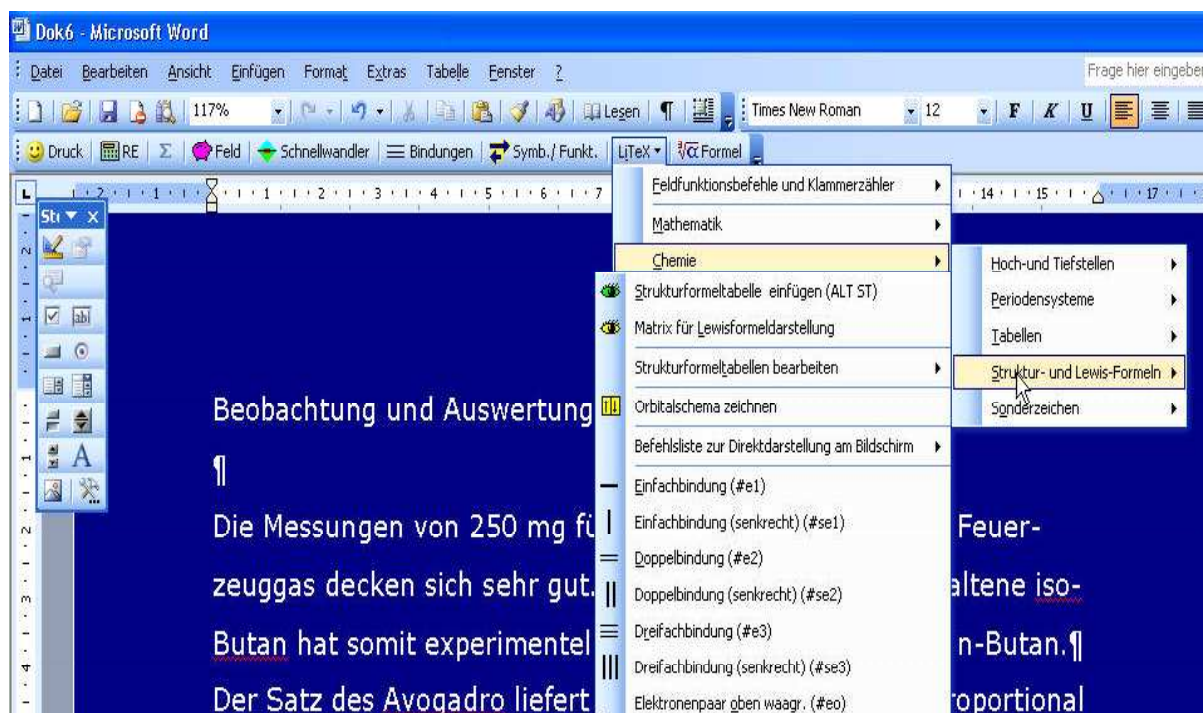
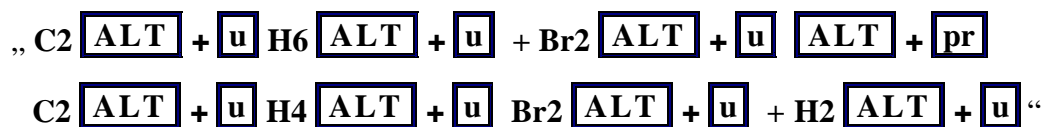


Bild 3.10: LITeX in Aktion

Natürlich kann man mit dem Programm auch ganze Reaktionsgleichungen in Form flächiger Ausdrücke erstellen. Hierzu sind nur wenige zusätzliche Befehle notwendig. Ein Beispiel ist die Reaktion von **Ethan mit Brom** in der Summenformel-Schreibweise. Für sehbehinderte Schüler gilt die Eingabe mit Hilfe der im Programm integrierten Symboliken:



Blinde Schüler können dieselbe nach *IUPAC* angemessene Summengleichung konzipieren,

indem sie folgende Zeile eingeben:

„ C_2H_6 + Br_2 rp **F3** C_2H_4_Br_2 + H_2 “

Aus der Tastaturfolge „rp **F3**“ entsteht das Code-Wort r-Pfeil, das nach Wandlung einen in Reaktionsgleichungen benutzten Rechtspfeil ergibt. Ist ein Sprachinterpreter wie *Jaws*TM installiert, so können blinde Schüler den geschriebenen Ausdruck sprachlich vom Computer wiedergeben lassen. In unserem Fall würde *Jaws*TM für *Windows*TM die obige implementierte Zeile dann so vorlesen:

„ C Index 2 H Index 6 Plus Br Index 2 Rechtspfeil C Index 2 H Index 4 Br Index 2 Plus H Index 2 “

Nach der Wandlung durch die Schnellwandlerfunktion erhalten beide Schülergruppen den Ausdruck:

„ C₂H₆ + Br₂ → C₂H₄Br₂ + H₂ “

An dieser Stelle sei auch auf die Vergrößerungsfunktion des Programms hingewiesen, welche Benutzern, die keine speziellen Bildschirmvergrößerungsprogramme, wie z.B. *MAGic*TM oder *Zoomtext*TM besitzen, aber dennoch auf eine Vergrößerung bei der Arbeit mit *MS-Word*TM nicht verzichten möchten. Die Makroaktivierung **ALT** + **zf** lässt sofort ein Formular im Textverarbeitungsprogramm erscheinen, mit dem sich der Zoomfaktor des vorliegenden Textes durch einfache Eingabe einstellen lässt. Der Vorteil dieser Zoom-Funktion ist, dass der Text am Fenster des aktiven Dokuments gebrochen wird und somit das lästige Scrollen des Textes über die Bildlaufleiste entfällt. Ohne diese Funktion würden sehbehinderte Schüler schnell die Orientierung im laufenden Text verlieren. Eine weitere wichtige Funktion, welche *LiTeX* den sehbehinderten und blinden Schülern gleichermaßen ermöglicht, ist das einfache Implementieren von Strukturformeln, was in der Organischen Chemie unerlässlich ist.

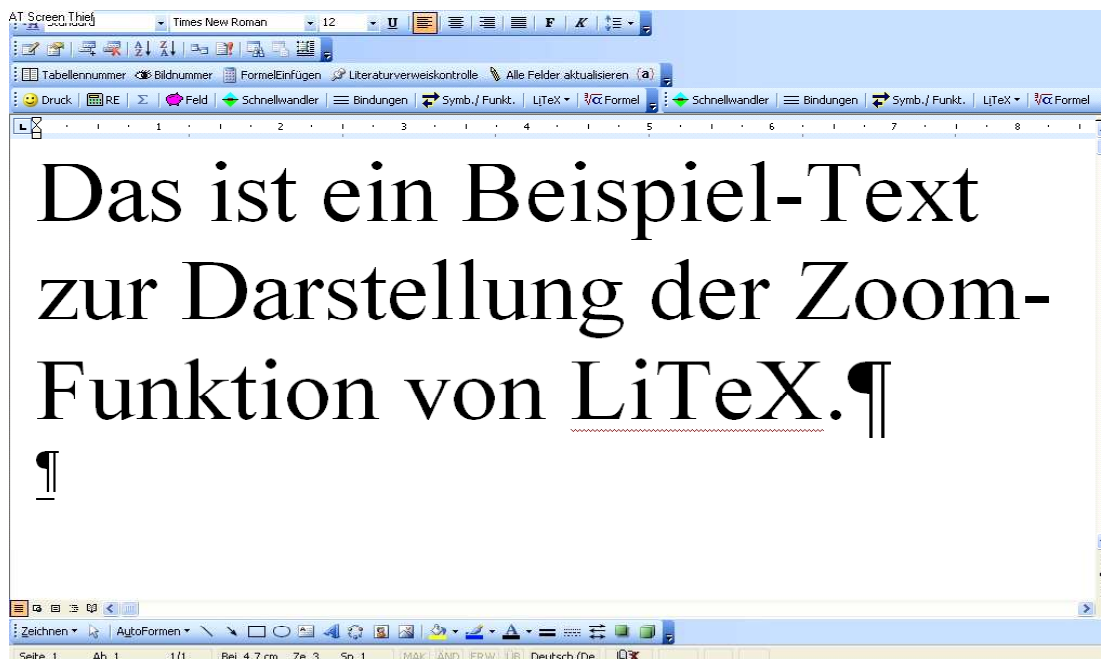


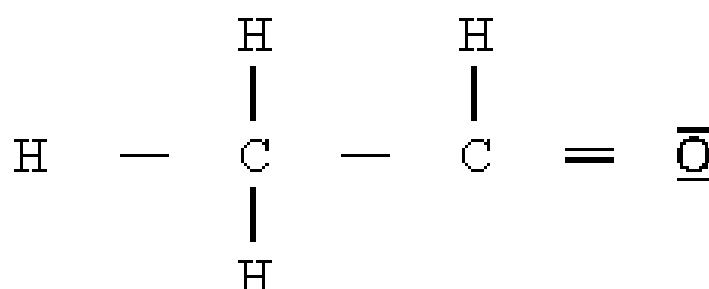
Bild 3.11: Die Zoom-Funktion von *LiTeX*

Die Formelvorlage des Programms bietet dem Anwender eine komfortable Strukturmatrix, in der einzelne Strukturformeln wieder mittels Tastenkürzel oder durch direkte Eingabe von Befehlen auf einfachste Weise erstellt werden können. Diese Matrix kann direkt in den Fließtext von *MS-Word*TM eingebettet werden, um so auf optimale Weise Lernplattformen in elektronischer Form für die Nacharbeitung des Unterrichtstoffes erstellen zu können. Am Beispiel der Erstellung der einfachen Strukturformel von Formaldehyd, soll die Funktionsweise der Strukturformelbefehle erklärt werden. Zunächst starten blinde und sehbehinderte Schüler die Strukturmatrix mit dem Makro **ALT** + **st**. Mit dem Befehl **ALT** + **sg** kann das Raster nach Strukturformeleingabe ausgeblendet werden. Zum Löschen einer unbenutzten Tabelle kann der Befehl **ALT** + **sj** aktiviert werden. Der Cursor wird dann mittels der Tabulator-Taste **TAB** innerhalb der Matrix durch die einzelnen Segmente bewegt. In diesen Segmenten können blinde sowie auch sehbehinderte Schüler dann normale Texteinträge, wie z.B. die üblichen Abkürzungen der einzelnen Elemente des Periodensystems eintragen.

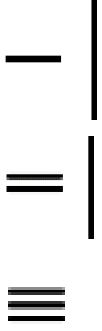


Beispiel 1: Formaldehyd




		H		H		
		#se1		#se1		
H	#e1	C	#e1	C	#e2	#o,ou
		#se1				
		H				

Nach Wandlung mit **ALT** + **w** und Gitternetzausblendung:





Um das Gitternetz nach dem Erstellen einer Strukturformel oder einer kompletten Reaktionsgleichung zu löschen, muss man zunächst das Gitternetz zu Recht schneiden. Dieses Vorgehen ist unbedingt erforderlich, da man sonst alle leeren Zeilen des Gitternetzes in den Fließtext hineinkopiert, was im Nachhinein nicht mehr korrigiert werden kann. Der Cursor kann dabei mit den Befehlen **ALT** + **Pos1** an den Anfang der Matrix oder mittels **ALT** + **Ende** an das Ende der Matrix geführt werden, was zur besseren Übersicht in der Benutzung führt. Zeilen und Spalten können dann ab der Position des Cursors gelöscht werden. Hierzu dient der Befehl **ALT** + **s** + **Pfeiltaste**, wobei die jeweilige Richtung der Pfeiltasten dann die jeweilige Löschrichtung angibt. Befehl **ALT** + **s** + **→** löscht beispielsweise alle Spalten nach rechts ab der Spalte, in der sich der Cursor befindet. Die neueste *LiTeX*-Version bietet zudem den vereinfachten Befehl **ALT** + **sö** der alle überflüssigen Zeilen und Spalten um die gesamte erstellte Formel herum löscht. Die wichtigsten Makro- und Textbefehle zur Erstellung von Strukturformeln zeigt folgende Tabelle:

Bindungssymbol	Makrobefehl für Sehbehinderte	Textbefehl für Blinde
	<p>CTRL + ALT + 1</p> <p>CTRL + ALT + 2</p> <p>CTRL + ALT + 3</p>	<p>#e1</p> <p>#e2</p> <p>#e3</p>
	<p>CTRL + ALT + s1</p> <p>CTRL + ALT + s2</p> <p>CTRL + ALT + s3</p>	<p>#se1</p> <p>#se2</p> <p>#se3</p>
	<p>CTRL + ALT + r1</p> <p>CTRL + ALT + r2</p> <p>CTRL + ALT + r3</p>	<p>#re1</p> <p>#re2</p> <p>#re3</p>

	CTRL + ALT + I3	#le1
	CTRL + ALT + I3	#le2
	CTRL + ALT + I3	#le3

Des Weiteren gibt es noch zusätzliche Symbolikbefehle, mit denen man freie Elektronen für die Radikalschreibweise, freie Elektronenpaare, sowie Partialladungen erstellen kann.

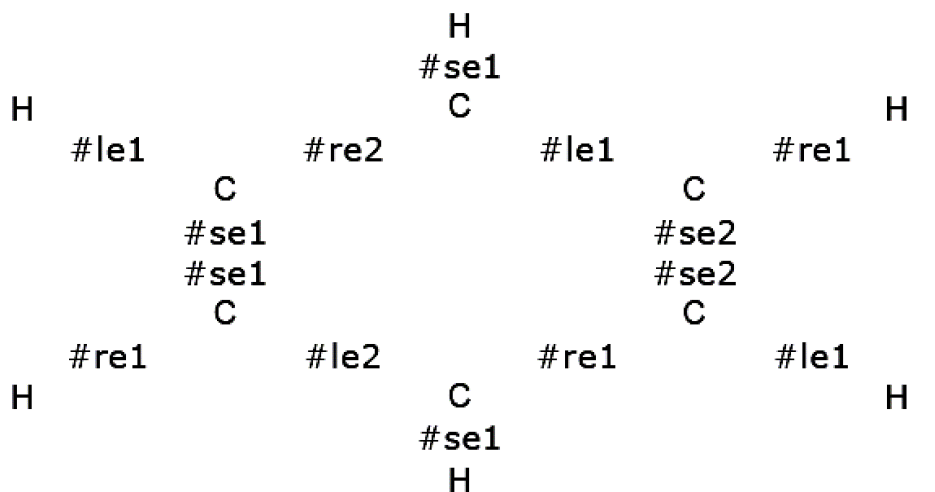
Symbol	Makrobefehl für Sehbehinderte	Textbefehl für Blinde
 Elektronenpaar vertikal	CTRL + ALT + v	#ev
Elektronenpaar horizontal unten bzw. oben	CTRL + ALT + u CTRL + ALT + o	#eu #eo
 Elektronenpaar horizontal oben mit Partialladung	CTRL + ALT + ö	#eö
Elektronenpaar horizontal oben mit	CTRL + ALT + ä	#eä

$\underline{\delta^+}$ Partiellladung		
• Radikalpunkt eines Elektrons	ALT + sd	#er

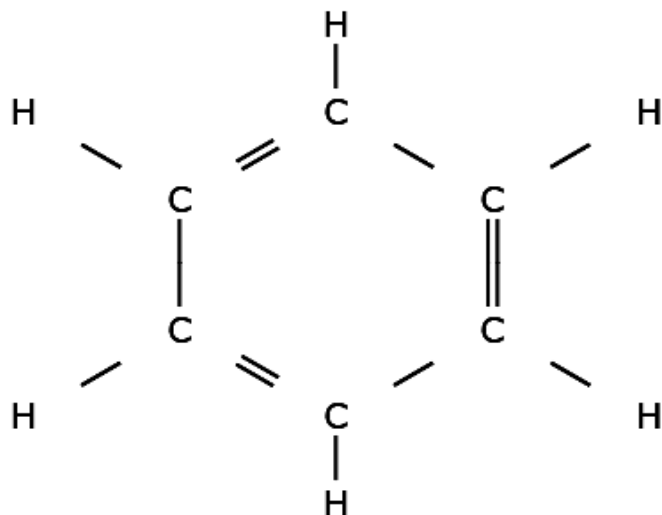
Hinweis: Die Ziffern der Makrobefehle sind über den Ziffernblock einzugeben.

Einfach-, Zweifach- und Dreifachbindungen können so horizontal und vertikal, sowie auch diagonal erstellt werden, um so einen echten flächigen Strukturausdruck zu erhalten. Folgendes Beispiel soll nochmals die Erstellung von Strukturformeln für blinde Schüler verdeutlichen:

Beispiel 2: Benzol



Nach Wandlung mit **ALT** + **w** bekommt man folgende Ausgabe:



4 Spezielle Hilfsmittel für Blinde im Chemieunterricht

4.1 Die Chemieschrift auf Basis des *Braille*-Schriftsatzes

a) Die Geschichte der Chemieschrift

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelten Marburger Blindenlehrer auf der Basis des *Braille*-Schriftsatzes eine neue Systematik zur Erstellung chemischer Ausdrücke für Blinde. Bereits im Jahre 1907 wurde von **Karl Schlüter** das erste **System der Mathematik- und Chemieschrift** in Hamburg vorgestellt. Dabei sollte dieses System vorwiegend dafür ausgerichtet sein, blinden Menschen einen höheren gymnasialen Schulabschluss und die damit verbundene Aussicht auf ein Studium zu ermöglichen. Eine Weiterentwicklung dieser Schrift während des *Ersten* Weltkriegs fand dann im Rahmen der eigens dafür eingerichteten „*Marburger Kommission für exakte Wissenschaften*“ statt. Unter der Leitung von **Dr. Mittelsten Scheid** wurde aufbauend auf diesem neu optimierten System, während der Zeit des *Hitler*-Regimes in Deutschland, weiter an der Mathematik- und Chemieschrift geforscht. Das führte im Jahre 1937 dazu, dass Vertreter der verschiedensten europäischen Länder, wie z.B. Deutschland und Großbritannien, über die kontinuierlich vorgelegten Forschungsergebnisse *Mittelsten Scheids* zu diskutieren begannen. Ein dreiköpfiger Ausschuss bestehend aus dem Vorsitzenden **Dr. Juringius** (Schweden), **Dr. Mittelsten Scheid** (Deutschland) und **Colonel Stafford** (Großbritannien) formulierte basierend auf den Ergebnissen der Deutschen eine neue Chemieschrift, welche mit Ausnahme von Frankreich von allen beteiligten Ländern

als die anerkannte Chemieschrift zur damaligen Zeit verabschiedet wurde. Noch bevor diese Ergebnisse publiziert werden konnten, unterbrach der *Zweite Weltkrieg* alle Kontakte der europäischen Vertreter. Im Jahre 1950 nahm die *Deutsche Blindenstudienanstalt Marburg* die Arbeit an der 1937 verabschiedeten Mathematik- und Chemieschrift unter der Leitung von **Dr. Epheser** wieder auf. 1955 wurde dazu eine Publikation unter dem Titel „*Neufassung und Vervollständigung der internationalen Mathematikschrift für Blinde*“ veröffentlicht. In der Folgezeit arbeiteten parallel zur Marburger Forschungsgruppe viele verschiedene Institute im deutschsprachigen Raum an der Weiterentwicklung des alten Marburger Systems von 1930. Nun ist es für den Leser nicht verwunderlich, dass aufgrund der rasanten Entwicklung in der Chemie und der damit verbundenen Optimierung wissenschaftlicher Reaktions- und Strukturausdrücke chemischer Verbindungen und deren Reaktionen miteinander, in den letzten Jahren die verschiedensten Konzepte für die bestmögliche chemische Blindenschrift auf den Markt geworfen wurden. Man suchte nach einer geeigneten Vereinbarungsregelung der wichtigsten Konzeptversuche. Vertreter der *Deutschen Blindenstudienanstalt e.V. Marburg* (kurz **Blista**), des *Soester Förderzentrums für Blinde und Sehbehinderte (FIBS)*, der *Deutschen Zentralbücherei Leipzig (DZB)* und der *Schweizer Bibliothek für Blinde und Sehbehinderte* in Zürich (**SBS**) fingen im Jahre 2001 in Leipzig in der Unterkommission „*Chemieschrift*“ eine Diskussion an, in der sich über die Verabschiedung eines neuen, im deutschsprachigen Raum allgemein gültigen Schriftsystems zur Erstellung chemischer Ausdrücke beraten werden sollte.

b) Das Schriftsystem für Blinde zur Erstellung chemischer Ausdrücke

Am 13. März 2004 wurde ein chemisches Schriftsystem verabschiedet, welches sich sehr stark an dem gültigen Blindenschriftsystem und dem System der alten Mathematikschrift für Blinde orientiert. Dabei wurde im Vergleich zur Chemieschrift von 1930 vor allen Dingen die Strukturschreibweise in erheblichem Maße ausgebaut und die Strukturformelschreibweise an die uns bekannte Schwarzschriftform angeglichen. Hierbei wird z.B. jedes Außenelektron in Form eines Punktes des bekannten Sechs-Punkte-Systems von *Louis Braille* dargestellt. Der **Brailleschriftkommission der deutschsprachigen Länder** kam es in erster Linie darauf an, eine für Blinde handhabbare Chemieschrift zu entwickeln, welche sich auf die wesentlichen chemischen Sachverhalte zu beschränken versucht. Es sollte bei diesen Überlegungen ein leicht erlernbares System von hohem praktischem Nutzen herauskommen. Aufgrund der noch nicht sehr langen Praxiserfahrung, muss an dieser Stelle vom Autor mit Vorsicht auf eventuelle schlechte Handhabbarkeit in der Anwendung des Systems in einer Schulklasse im

Fach Chemie hingewiesen werden. In der erstellten Abhandlung über die neu konzeptionierte Chemieschrift für Blinde möchte die Kommission „*einerseits der gestiegenen Bedeutung der Chemie Rechnung tragen und andererseits einen Beitrag zur Integration blinder und sehbehinderter Menschen leisten*“. [18]

c) Die neue Chemieschrift aus dem Jahre 2004

Die neue Chemieschrift aus dem Jahre 2004 geht wie bereits erwähnt vom bewährten Sechspunkte-System aus. Zum näheren Verständnis und zur besseren Übersichtlichkeit werden in der Schwarzschriftfassung die gesetzten Punkte durch dicke schwarze Punkte verdeutlicht (vgl. **Kapitel 1.4 Die Braille-Schrift**). Kleine angedeutete Punkte werden zur besser Verdeutlichung der Anordnung als Platzhalterpunkte eingesetzt. Man geht also wieder von folgender Grundform aus:

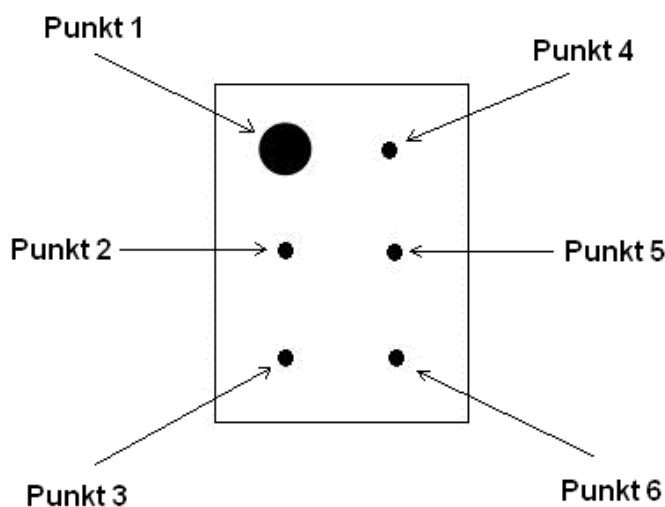
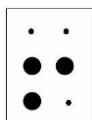


Bild 4.1: Punktstellungen des Braille-Systems

Die Grafik verdeutlicht hier den Kleinbuchstaben **a** in *Braille*-Schrift mit gesetztem **Punkt 1**. Im Folgenden beschränkt sich der Autor auf die speziellen chemischen Operationszeichen wie das Pluszeichen und Reaktionspfeile, sowie auf Formelschreibweisen von Verbindungen und die flächige Ausgabe von Reaktionen in der Organischen Chemie. Mathematische Operationen bleiben hier unberücksichtigt, da sie mit der speziellen Betrachtung nichts zu tun haben.

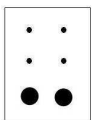
d) Chemische Operationen

Unter den chemischen Operationszeichen sind zur Erstellung flächiger Reaktions-Ausdrücke zum einen das **Plus-** und das **Minuszeichen**, sowie die verschiedenen **Reaktionspfeile** zu nennen.



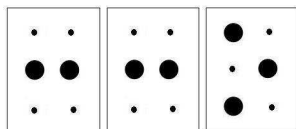
Pluszeichen

+



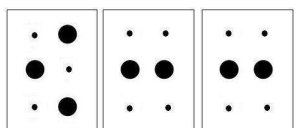
Minuszeichen

-



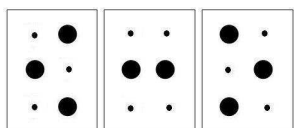
Reaktionspfeil rechts

→



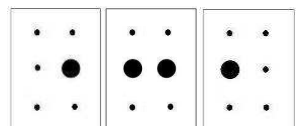
Reaktionspfeil links

←



Gleichgewichtspfeil

⇌



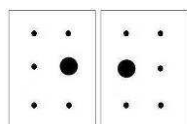
Mesomeriepfeil

↔

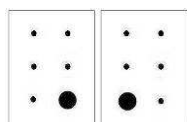
e) Ankündigungszeichen in chemischen Ausdrücken

Wichtig für chemische Symboliken in Fließtexten ist die Vorankündigung dieser durch spezielle Sonderzeichen in der Chemieschrift. So können chemische Formeln einmal durch

zwei Leerzeichen vor und nach den Ausdrücken vom eigentlichen Fließtext abgegrenzt werden. Die zweite Möglichkeit ist die Anwendung eines **Ankündigungszeichens** zu Anfang einer chemischen Symbolik und eines Abkündigungszeichens zu Ende. Diese sehen dann wie folgt aus:



Ankündigungszeichen



Abkündigungszeichen

Einzelne Wörter zwischen chemischen Formeln können nur durch Voranstellung des Abkündigungszeichens nach dem Formelausdruck eingefügt werden, da Blinde sonst große Schwierigkeiten im fließenden Ertasten des Mischtextes bekommen können. Weitere wichtige punktschrifttechnische Ankündigungszeichen sind die **Groß-** und **Großkleinschreibeankündigung**, um den Text besser handhabbar zu machen. Diese wurden bereits im Kapitel über die *Braille*-Schrift erwähnt (vgl. **wieder Kapitel 1.4**). Die für chemische Summenformeln unerlässlichen **Indizes** werden durch eine weitere spezielle tiefgesetzte taktile Zeichensetzung gemäß dem *Braille*-System verdeutlicht. Hierbei orientiert man sich bei den Ziffern von 0 bis 9 an den ersten zehn Buchstaben des Deutschen Alphabets (a bis j), wobei diese durch einfachstes Herunterrücken tiefer geschrieben werden.

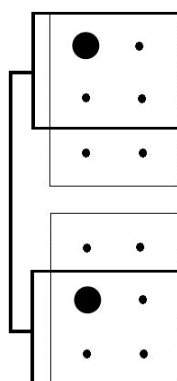
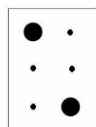


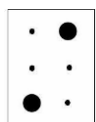
Bild 4.2: Taktile Übertragung von Indizes

So wird aus der ehemaligen Ziffer **1** ein Index $_1$, usw. Sind die unteren Indizes keine reinen

Ziffern, so muss man das Ankündigungszeichen des **Tiefstellens** voranstellen. Bei hochgestellten Indizes ist analog zu verfahren.

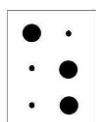


Tiefstellen



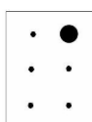
Hochstellen

Bei längeren Indexausdrücken beendet man der besseren Übersicht halber mit dem Zeichen



Indexende

Ein indexgestelltes Pluszeichen muss durch Voranstellen des **Zusammenziehungszeichens** zur Unterscheidung der Indexziffer 6 gekennzeichnet werden. Beim Minuszeichen kann das Zusammenziehungszeichen entfallen.

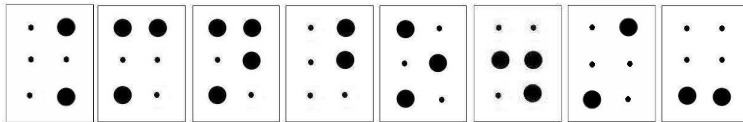


Zusammenziehungszeichen

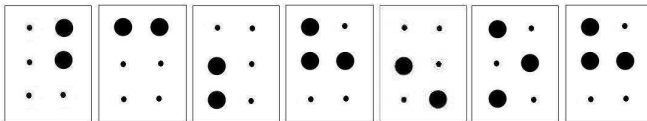
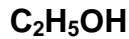
Zur Darstellung der **Ionenladung** als Kombination aus Ziffern und Symbolen muss vor der Ladungszahl das bekannte **Zahlzeichen** vorangestellt werden. Bei Auftreten von oberen und unteren hinteren Indizes in Summenformeln werden diese in der Reihenfolge der üblichen Sprechweise der *IUPAC* für chemische Verbindungen angegeben, zuerst das Atomzahlverhältnis, dann die Ionenladung. An dieser Stelle sollen zwei Beispiele zur Verdeutlichung der Anwendung von Ankündigungszeichen genannt werden.

Beispiel 1: Die Summenformel des Permanganat-Anions:

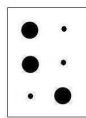




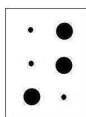
Beispiel 2: Die Summenformel von Ethanol:



Als zusätzliche Hilfssymbolik sei an dieser Stelle noch kurz die **Klammersetzung** erwähnt, welche man z.B. bei der Abkürzung von langkettigen Kohlenwasserstoffen in der Organischen Chemie oder zur informativen Anzeige von Aggregatzuständen verwendet. Diese setzt man einfach zwischen den fließenden Text.

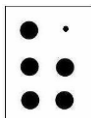


„runde Klammer auf“

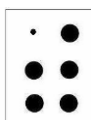


„runde Klammer zu“

Auch die eckigen Klammerausdrücke in großen Molekülen können mit der Chemieschrift dargestellt werden:

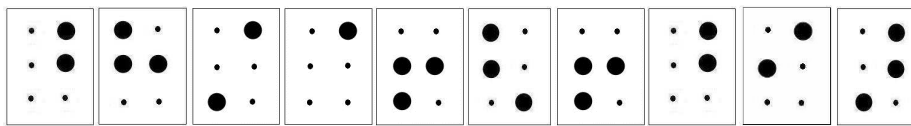


„eckige Klammer auf“

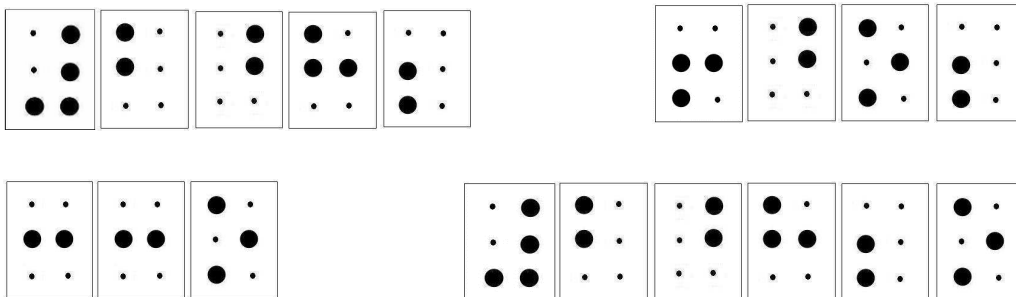
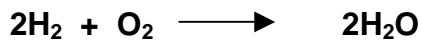


„eckige Klammer zu“

Die **Oxidationszahlen** der einzelnen Atome in chemischen Verbindungen werden ebenfalls mit Hilfe der Klammersetzung direkt und ohne Leerzeichen hinter das jeweilige Atom in Punktschrift gesetzt. Hierbei dient ein Formelklammer-Ausdruck, welcher die Oxidationszahlen in römischen Ziffern inklusive Vorzeichen angibt. Die Wahl von römischen Ziffern (mit Ausnahme der Null „0“) hat sich der Übersicht halber sehr gut in der Praxis bewährt, sodass die Oxidationszahlen so leichter von Indizes zu unterscheiden sind. Ein Beispiel wäre ein Proton mit Oxidationszahl (+I):



Mit den oben erwähnten Operations- und Ankündigungszeichen ist es dann möglich, chemische Reaktion zu beschreiben. Ein Beispiel wäre die bekannte Knallgasreaktion zwischen Wasserstoffgas und Sauerstoffgas zu Wasser:

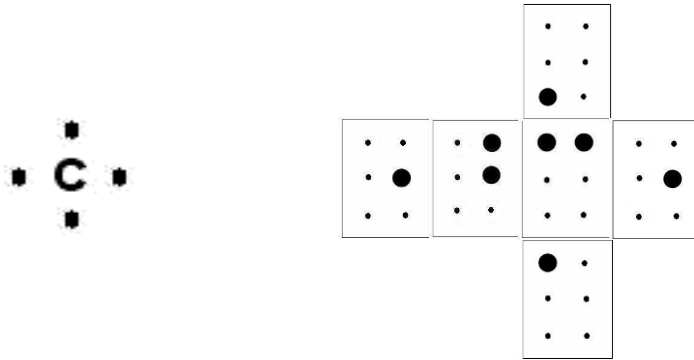


Zur Beschriftung der Reaktionspfeile stellt man einfach den Ausdruck über dem Pfeil als Klammersausdruck dar und zwar vor das Pfeilsymbol, wenn sich die Erläuterung in der Klammer auf die Hinreaktion und hinter das Pfeilsymbol, wenn sich die Erläuterung in der Klammer auf die Rückreaktion bezieht.

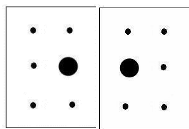
f) Strukturformeln in der Chemieschrift

Mit der neu entwickelten Chemieschrift ist es außerdem möglich, die *Lewis*-Struktur-schreibweise für Blinde zu übersetzen. Freie **Außenelektronen** werden wie in der

Schwarzschrift durch einzelne Punkte dargestellt. Ein Beispiel wäre hier das Kohlenstoffatom mit seinen 4 Außenelektronen:

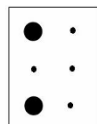


Man sieht, dass es verschiedene Zeichen für die einzelnen freien Elektronen gibt. Lediglich die Elektronen links und rechts des Atoms haben dieselbe Punktschrift (Punkt 5). Ähnlich verhält es sich bei den **freien Elektronenpaaren**. Atombindungen werden analog der bekannten Chemie-Schwarzschrift übertragen. Die bindenden Elektronenpaare ergeben sich wie folgt:



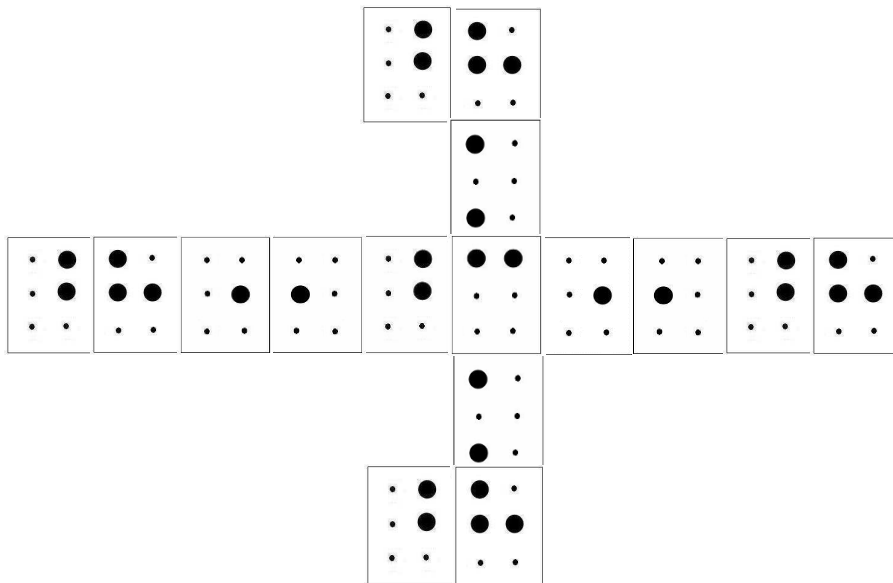
Einfachbindung nach rechts und links

Auch bei den Bindungen nach unten und oben gibt es einen wesentlichen Unterschied im Vergleich mit den freien Elektronen. Ein einziges Punktschrift-Zeichen überträgt die gesamte Atombindung nach unten oder oben:

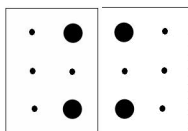


Atombindung nach unten bzw. nach oben

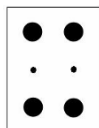
Beispiel: Die Lewis-Schreibweise von Methan CH₄:



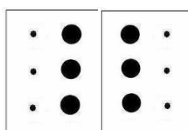
Bei Doppelbindungen, sowie bei Dreifachbindungen findet man wieder Analoges:



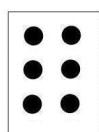
Doppelbindung nach rechts und links



Doppelbindung nach unten (bzw. nach oben)

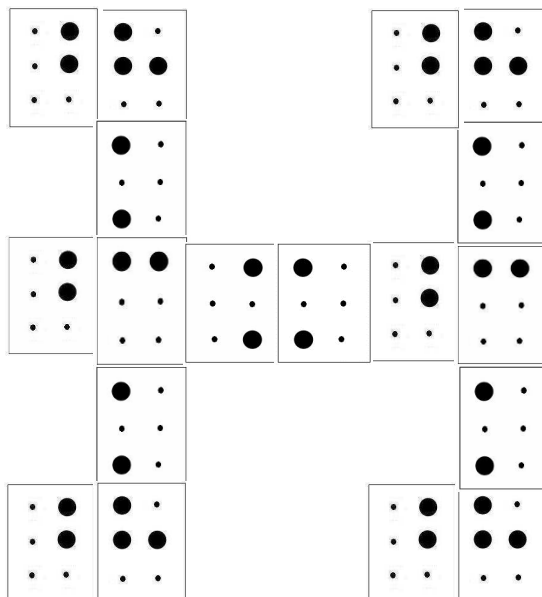


Dreifachbindung nach rechts und links



Dreifachbindung nach unten (bzw. nach oben)

Beispiel: Die Strukturformel von Ethen:



Mit Hilfe dieser Liste an Schreibweisen ist es nun möglich, flächige Reaktionsgleichungen auf der Basis von Strukturformeln zu erstellen. Auf diese Weise können zudem **cyclische Verbindungen** in verschiedensten Projektionsformen (*Haworth*, *Fischer*, etc.) dargestellt werden. Wegen zunehmender Komplexität bei steigender Kohlenstoffanzahl in organischen Verbindungen behilft man sich außerdem taktile Abbildungen in Form typhlographischer Umsetzungsmethoden (**tastbare Bilddarstellungen, vgl. auch Bild 4.3: Eine typhlografische Umsetzung von Benzol**). Mit dem großen Umfang an hilfreichen strukturellen Übersetzungsmöglichkeiten befähigt die Chemieschrift blinde Schüler, Reaktionsgleichungen und flächige Formeln in angemessener Zeit im laufenden Unterricht auf taktile Weise zu erfahren, sodass man sagen kann, dass diese neue Methode einen großen Beitrag zur Integration blinder Menschen im naturwissenschaftlichen Bereich leisten kann. [18]

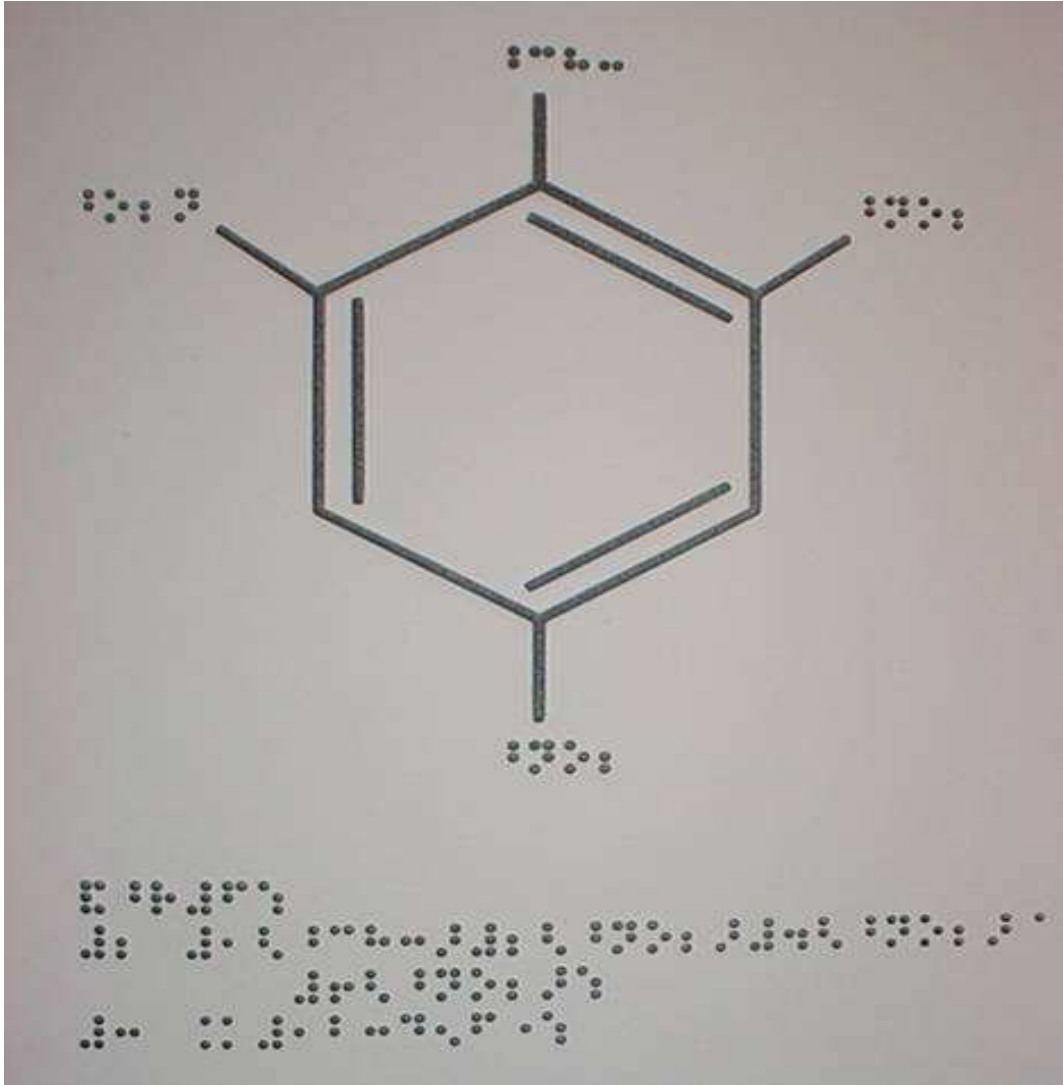


Bild 4.3: Eine typhlografische Umsetzung von Benzol

4.2 Das *Optophon*TM und der *ColorTest*TM

Zur **Sichtbarmachung von Farbe** für blinde Schüler eignet sich der Einsatz eines in der *Deutschen Blindenstudienanstalt Marburg e.V.* entwickelten *Optophons*TM, bei dem eine **Durchlichtmessung** einer vorgegebenen Substanz in ein akustisches Signal übertragen wird. Kommt viel Licht durch die Probe, so erklingt ein sehr heller Ton mit hoher Frequenz, wird viel Licht von der Probe absorbiert, so äußert sich das in einem eher dunklen Ton mit niedriger Frequenz. Es handelt sich beim *Optophon*TM um ein recht kompaktes und handliches Gerät, welches schon viele Jahre erfolgreich im naturwissenschaftlichen Unterricht der *Carl-Strehl*-Schule eingesetzt wird.



Bild 4.4: Das *Optophon*TM

Anfang der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts wurde zudem von der Firma *CareTex*TM aus Wien das Farberkennungsgerät *ColorTest*TM auf den deutschsprachigen Markt gebracht. Der *ColorTest*TM ist ein stabförmiges Messgerät zur Farberkennung von Proben, welches gemessene Werte für **Farbsättigung, Helligkeit, Kontrast** und **Farbmischung der drei Grundtonarten** in akustische Sprachsignale umwandeln kann. Hierbei dient die **Spektralanalyse** eines ausgesendeten, weißen Lichtstrahls, welcher am Messobjekt mehr oder weniger

gut absorbiert wird, sodass das vom Objekt zurückgeworfene Spektrum vom Gerät selbst ausgewertet wird. Dabei wird die ausgewertete Farbe des Messobjektes durch eine eingebaute Sprachausgabe wörtlich angesagt. Der Titrationsumschlag von Phenolphthalein im basischen pH-Bereich würde vom Gerät mit der Ausgabe „dunkelrosa“ als solcher detektiert. Bei gesamtter Absorption des vom *ColorTest*TM ausgesandten Lichtstrahls, würde dieser die Farbe „schwarz“ melden, was dem Chemiker nicht ungewöhnlich vorkommen sollte. Auch die Gewichtung der **RGB-Mischung** in den einzelnen Grundtonarten wird vom Gerät sauber analysiert und akustisch wiedergegeben.



Bild 4.5: Der *ColorTest*TM

Es ist anzumerken, dass der *ColorTest*TM mit etwa 900 Euro zu Buche schlägt, was nicht gerade günstig ist. Viele Krankenkassen übernehmen die Kosten zu einem großen Teil, was dem *Deutschen Blinden- und Sehbehindertenverband e.V. (DBSV)* zu verdanken ist. Beide Geräte wurden im Laufe der Jahre immer weiter entwickelt und ermöglichten so immer bessere Differenzierung einzelner Farbnuancen, was vor allem in der chemischen Analytik organischer Verbindungen sehr hilfreich ist. Bei den alten Geräten mussten die Benutzer die Angaben zur Farbigkeit lediglich auf die drei Grundtonarten zurückführen. Der *ColorTest*TM ist etwa in der Lage, mehrfarbige Objekte als solche zu analysieren, was bei langsam verlaufenden Reaktionen, z.B. der Verkohlung von Haushaltszucker mit konzentrierter Schwefelsäure, für blinde Schüler eine sehr große Hilfe sein kann. Dieses Gerät besitzt zudem

einige nützliche Zusatzfunktionen, wie einen Temperaturmesser oder eine Stoppuhr, sodass auch andere Differentialdiagnostiken während eines andauernden Experimentes akustisch wiedergegeben werden können. Nachteilig ist zu erwähnen, dass diese beiden Geräte im Einsatz des Chemieunterrichts bei blinden Schülern, die noch nie eine Vorstellung von Farbigkeit hatten, wie es bei Geburtsblinden der Fall ist, schlicht und ergreifend keine nutzbaren Hilfsmittel darstellen. Sie sind deshalb auf die Hilfe ihrer Mitschüler in puncto Differenzierung von Verbindungen über ihre verschiedenen Farbigkeiten angewiesen.

5 Neue didaktische und methodische Konzepte

5.1 Ein Molekülmodell für blinde und sehbehinderte Schüler

a) Die Definition

Als Modell versteht man verschiedene Aussagen über ein Objekt, welche innerhalb eines vorgegebenen Rahmens zusammengefasst sind. Diese Aussagen können durch reale Abbildungen unterstützt werden. Im Falle eines naturwissenschaftlichen Modells, ist stets ein Teil dieser Aussagen, die bei Bildung des Modells benutzt werden, empirisch gewonnen und experimentell belegbar. Zusätzlich sei es genehmigt, fundierte hypothetische Aussagen zur Modellbildung zu verwenden, die bisher noch nicht ausreichend bewiesen sind, aber dennoch nicht im Widerspruch mit den anderen belegbaren Voraussetzungen stehen (vgl. [19], S. 19 f.).

b) Modelle in der Chemie

In diesem Abschnitt sollen zunächst die **wissenschaftstheoretischen Probleme** bei der Zuhilfenahme chemischer Molekülmodelle aufgezeigt werden. Einerseits soll jedes Molekülmodell die Realität modellartig abbilden, d.h. es soll also eine anschauliche Wiedergabe eines reellen Vorbildes sein, wie in unserem Fall von Atom- und Molekülverbänden. Zum anderen ist die Modellbildung eine Methode, mit deren Hilfe man versucht, neue Erkenntnisse durch probieren zu erlangen. Es muss an dieser Stelle betont werden, dass bei jeder noch so präzisen Modellvorstellung immer Eigenschaften des realen Gegenstandes zu Gunsten anderer wichtigerer Eigenschaften vernachlässigt werden müssen. Das kann damit zusam-

menhängen, dass man einige Eigenschaften noch nicht bis ins Detail kennt oder auch deren Umsetzung innerhalb einer Modellvorstellung viel zu schwierig wäre. Somit kann ein Modell nur Aussagen über Sachverhalte liefern, die man beim Bau hineinsteckt. Der Leitgedanke der **didaktischen Reduzierung** von Stoff und dessen Eigenschaften sollte hier zum tragen kommen. Es bringt nichts, alle Eigenschaften, seien sie auch noch so unwichtig, um jeden Preis in ein Modell packen zu wollen. Dies kann zu Unübersichtlichkeiten führen, was sehr kontraproduktiv angesichts seines Einsatzgebietes wäre. Dieser Aspekt sollte vor allen Dingen bei der Wahl geeigneter Molekülmodelle für den Einsatz in gemischten Lerngruppen mit blinden und sehbehinderten Schülern im Vordergrund stehen. Der Grad an **Komplexität** ist dabei für jede Schülergruppe individuell anzupassen. Bei der Anwendung sollte man sich also anfangs über die gegebenen Voraussetzungen innerhalb der Lerngruppe und die Grenzen eines solchen Modells Gedanken machen, um somit den Sinn und Unsinn des Einsatzes im Unterricht gemischter Lerngruppen abwägen zu können. Ein Modell muss einerseits bereits vorhandenes Wissen innerhalb des abgesteckten Gültigkeitsbereiches bestätigen und andererseits eine Art konstruktive Erfahrung durch eigene Erkenntnisse leisten.

Mit diesen Problemen im Hinterkopf sollen nun einige erstrebenswerte Eigenschaften von Molekülmodellen, welche im Unterricht mit blinden und sehbehinderten Schülern zum Einsatz kommen, aufgelistet werden. Dabei wären hauptsächlich die Eigenschaften

- **Bindungsabstand / Bindungswinkel**
- **Bindigkeit**
- **Arten chemischer Bindung**
- **Stärke der elektrischen Bindungskräfte / Polaritätsdifferenzen**
- **Beschreibung der Elektronenhülle**

zu untersuchen. Im Falle käuflich zu erwerbender Modelltypen wurden die meisten der oben genannten erstrebenswerten Eigenschaften integriert. Aufgrund dieser Integration sind jedoch einige Modelle zu Gunsten dieser Gradwanderung zwischen allen Eigenschaften für den Einsatz in gemischten Lerngruppen mit blinden und sehbehinderten Schülern weniger gut zu gebrauchen oder schlichtweg unbrauchbar. Im Folgenden sollen einige käuflich zu erwerbende Spezies, welche auf der Basis des **Stäbchenmodells** entwickelt wurden, im Hinblick auf den Einsatz in gemischten Schülergruppen mit blinden und sehbehinderten Schülern kritisch betrachtet werden. **Kalottenmodelle** seien in dieser Betrachtung ausgeschlossen, da diese erstens eine zu hohe Komplexität aufzuweisen haben und zweitens zu großen Wert auf

den Sehsinn legen. Zum Beispiel sind die Unterschiede der eingesetzten Atome in diesen kalottenförmigen Modellen nur durch farbliche Unterschiede gekennzeichnet. Kovalente Bindungsverhältnisse wurden nicht als eigenständige Bindungen im Modell integriert, sodass es für blinde Schüler insgesamt sehr schwierig wird mit diesen zu arbeiten. Das chemische Verständnis würde in diesem Fall nicht durch den Einsatz eines Kalottenmodells unterstützt. Stattdessen könnte der Einsatz zu großen Verwirrungen führen.



Bild 5.1: Kalotten- und Stäbchenmodell

Das eingesetzte Molekülmodell sollte in erster Linie die theoretischen Überlegungen über den räumlichen Aufbau von Verbindungen praktisch anschaulich machen. Blinde und sehbehinderte Schüler sollten deshalb mit einem Modell arbeiten, welches zum einen sehr einfach konstruiert ist und zum anderen gut tastbar ist. Viele käufliche Stäbchenmodelle scheiden hierbei aufgrund ihrer Komplexität und der Handhabbarkeit bzw. ihrer Unüberschaubarkeit aus.

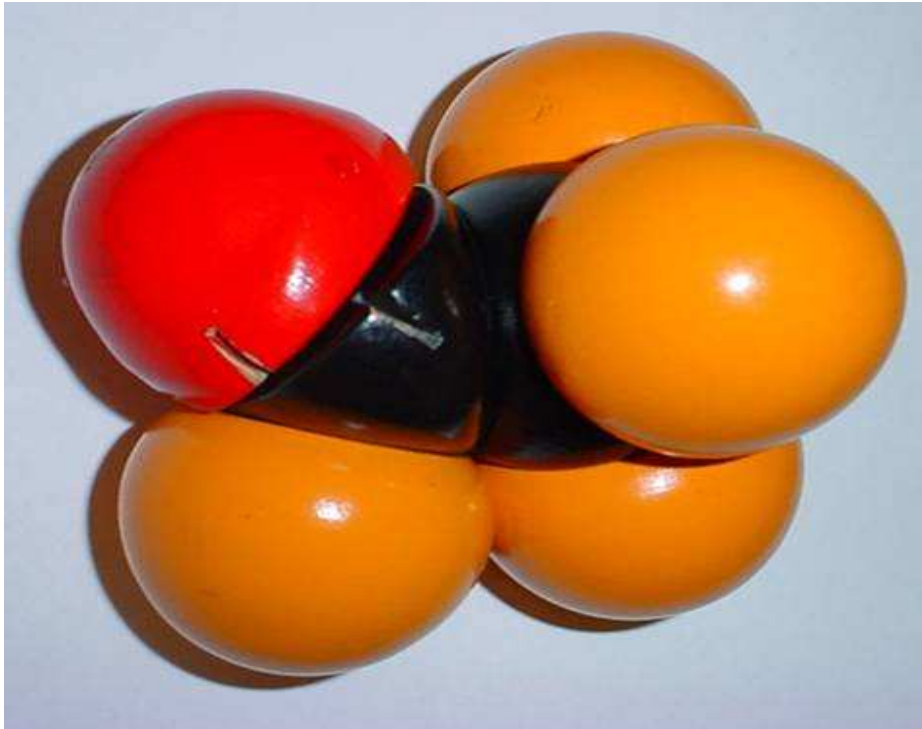


Bild 5.2: Ein sehr unüberschaubares Kalottenmodell von Formaldehyd

Um nun den blinden und sehbehinderten Schülern ein brauchbares und nützliches Molekülmodell an die Hand geben zu können, bedarf es einiger Vorüberlegungen, welche im weiteren Verlauf dieser Ausführung über Molekülmodelle näher erläutert werden. Die kommerziell erwerblichen Molekülmodelle legen natürlich großen Wert auf die exakte Darstellung der Bindungs- und Atomverhältnisse. Das bedeutet zum Beispiel, dass wenn man mit Molekülmodellen arbeitet und etwa ein Methan-Molekül erstellt, so sollte dieses Molekül auch eine sichtlich korrekte Anordnung besitzen. Dabei stimmen die Bindungswinkel genauso mit der Theorie überein, wie die Größenverhältnisse der einzelnen Atome zueinander. Ein Methan-Molekül wird somit bis auf das kleinste Detail in der Hand des Erbauers erschaffen und kann von ihm auch optisch mit dem theoretischen Hintergrundwissen als solches identifiziert werden. Wenn man nun größere Moleküle wie etwa ein mächtiges Zucker-Molekül erstellen möchte, wird dieses Unterfangen schon schwieriger. Die Bindungswinkel der einzelnen Molekülbauteile neigen dazu, eine korrekte räumliche Anordnung ihrer selbst zu schaffen. Die **Übersichtlichkeit** der so erschaffenen Molekülmodelle lässt mit größer werdenden Anordnungen immer mehr zu wünschen übrig. Man muss dann das Molekülmodell geschickt drehen, und zwar so, dass man während dieser durchgeführten Drehung das Modell anhand seines wohl strukturierten Verlaufes gewissermaßen mitverfolgt, um eine Übersicht über das Molekül zu bekommen. Dieses Vorgehen geht natürlich nur,

wenn man über zwei gesunde Augen verfügt und selbst diese können einen bei großen Molekülen im Stich lassen. Sehbehinderte oder gar blinde Schüler werden mit diesen Molekülmodellen beim Aufbau größerer Verbindungen erhebliche Schwierigkeiten haben. Viele bewegliche Teile neigen dazu, im Gegensatz zu starren Gebilden eine ungewollte **freie Drehbarkeit um C-C-Einfachbindungen** zu entwickeln, was blinde und sehbehinderte Schüler in ihrer Orientierung erheblich behindert. Sie verlieren die Übersicht und man hat als Lehrer genau das Gegenteil erreicht, was man eigentlich mit den demonstrativen Stillarbeitsphasen erreichen wollte. Es kommt zu größter Frustration und nicht zu einer gewollten Unterstützung des theoretischen Verstehens. Auch die Größen mancher Modellbauteile wie z.B. die des **MINITTM-Molekülbaukasten-Systems**, lassen nur relativ kleine Modellstrukturen zu, sodass sehbehinderte und auch blinde Schüler äußerste Schwierigkeiten mit der Interpretation solcher haben. Hierbei sind die Atome oft weder fühlbar noch von Bindungen unterscheidbar. Es kann so beim Einsatz in gemischten Lerngruppen vorkommen, dass etwa ein vom Lehrer erstelltes Heptan-Molekül als Hexan-Molekül interpretiert wird, da die zentralen Kohlenstoffatome beim Ertasten aus Unkonzentriertheit einfach übersprungen werden. Werden im Unterricht mit blinden und sehbehinderten Schülern Molekülmodelle mit zu großen Bauteilen eingesetzt, können die Schüler sich oft in der Größe komplexer Moleküle verlieren und man hat als Lehrer ähnliche Probleme, wie sie bei zu klein gewählten Modellen auftreten. Auch sind viele Atome nur durch ihre unterschiedliche Farbgebung unterscheidbar. Blinde Schüler können so bei manchen Molekülbaukasten-Systemen zum Beispiel kein Wasserstoffatom von Halogenatomen unterscheiden, was zu einer zusätzlichen Beeinträchtigung im Nutzen solcher Modelle führt. Der interessierte Leser wirft nun natürlich die Frage auf, wie ein nutzbares Molekülmodell für sehgeschädigte Schüler aussehen müsste und ob es dieses in der Realität auch wirklich gibt. Als Vergleich sei hier das in vielen Schulen beliebte **MINITTM-Molekülbaukasten-Sytem** herangezogen, an welchem man viele der oben bereits angedeuteten Probleme beim Einsatz in gemischten Lerngruppen mit blinden und sehbehinderten Schülern verdeutlichen kann. Im Vergleich dazu soll das für den Einsatz in den gemischten Lerngruppen brauchbare **CVKTM-Molekülbaukasten-Sytem** stehen, welches sich im Einsatz an der *Carl-Strehl*-Schule in Marburg über Jahre sehr gut bewährt hat. Im Anschluss an diese Betrachtung stellt der Autor ein selbst entwickeltes Molekülbaukasten-System vor, welches auf low-cost-Basis die Möglichkeit bietet, blinden, sowie sehbehinderten Schüler Strukturen organischer Verbindungen auf **zweidimensionaler Ebene** näher zu bringen.

c) Das *MINIT*TM-Molekülbaukasten-System

Wenn man den Molekülbaukasten des *MINIT*TM-Systems öffnet, fallen einem die doch **sehr klein geratenen, verschiedenfarbigen Bausteine** des Kastens auf, welche schon bei Einsatz in normalen Schülergruppen eine gewisse Fingerfertigkeit voraussetzen lässt. Als Zentrum dieses Molekülbaukasten-Systems stehen 1-cm-große verschiedenfarbige **Plastikkreuze** mit vier gleichen Enden zur Verfügung, deren Arme in einem Winkel von nahezu 110° zueinander einen Tetraederwinkel bilden. Diese kleinen **Tetraederbausteine** symbolisieren Atome und deren Bindigkeit. Hierbei sind schwarze Kohlenstoffatome, rote Sauerstoffatome und blaue Stickstoffatome zu unterscheiden, welche jeweils ein **farbiges sp³-Zentrum** bilden. Die Differenzierung dieser Zentren ist für sehbehinderten Schüler aufgrund ihrer Größe nicht ganz leicht. Blinden Schülern ist dieses Unterfangen einfach unmöglich, was den Einsatz in Lerngruppen mit blinden Mitgliedern zunächst fraglich macht. Des Weiteren enthält der Molekülbaukasten **Plastikrohre**, welche als Abstandshalter zwischen den Atomen dienen und gleichzeitig die Bindungen symbolisieren. Diese Röhren sind für die wichtigsten Abstände zwischen den an Bindungen beteiligten Atomen zurechtgeschnitten, sodass hierzu ein Maßstab von 2 cm gleich 100 ppm Länge, sowie ein Durchmesser von etwa 1 mm passend für alle Atombauteile festgelegt wurde. Der Einfachheit halber wurden die Längen einer C-H-Bindung (in der Realität 103 ppm), der **O-H-Bindung** (97 ppm) und der N-H-Bindung (100 ppm) durch standardisierte Plastikröhren der Länge 1,5 cm realisiert. Die Längen der Einfachbindung mit größeren Atomen als Wasserstoff, wie z.B. C-C-Bindungen oder die C-O-Bindung, wurden analog durch standardisierte Röhren der Länge 2,5 cm symbolisiert.



Bild 5.3: Das *MINIT*TM-Molekülbaukasten-System

Allein diese **Standardisierungsmaßnahmen** machen, im Zusammenhang mit der Farbigkeit verschiedener Zentralatome, den Einsatz in gemischten Lerngruppen mit sehgeschädigten Schülern unmöglich. Beispielsweise könnte so ein sehr einfaches Molekül wie das **ungeladene Methan-Molekül** nicht von einem **geladenen Ammonium-Ion-Molekül** unterschieden werden, da diese beiden Moleküle durch für blinde Schüler gleich tastbare Molekülbausteine symbolisiert sind. Ein weiterer Nachteil ist, dass die im Handel vorliegenden Molekülmodelle nicht sehr moderat im Preis sind (etwa 32 Euro sind pro Schülersystem zu berappen), d.h. sie sind für ihre Funktion als Schülermodelle viel zu teuer und zahlen sich dementsprechend im Einsatz innerhalb des Chemieunterrichts nicht aus. Der hohe Verschleiß der einzelnen Einheiten des Molekülbaukasten-Systems aufgrund der schlechten Verarbeitung tut sein Übriges. Die eingesetzten Plastikrohre sind zwar biegsam zur Ausbildung von **C-C-Zweifach- bzw. -Dreifachbindungen**, aber aus einem zu spröden Material, als dass sie die Erstellung von Molekülen über Jahre hinweg ohne Verlust überdauern würden. Deshalb kann von einem Einsatz solcher und ähnlich konstruierter Molekülbaukasten-Systemen in den gemischten Lerngruppen seitens des Autors nur abgeraten werden (vgl. [19], S. 21 - 33).

d) Das **CVKTM-Molekülbaukasten-System**

Das seit vielen Jahren erfolgreich in der *Carl-Strehl*-Schule in Marburg eingesetzte und käuflich zu erwerbende **CVKTM-Molekülbaukasten-System** bietet für blinde und sehbehinderte Schüler viele Vorteile gegenüber den anderen Systemen. Eine **CVKTM-Molekülbox** in der Grundausstattung besteht aus etwa 1-cm-großen Atombauteilen aus **Hartplastik**, wobei die jeweiligen Atomgruppen (Kohlenstoff-, Sauerstoff- und Stickstoffatome) bezüglich ihrer **Lewis-Schreibweise** eine verschiedene Anzahl an Bindungsstäben besitzen. Dabei wurde die tetraedrische Elektronendichteverteilung beibehalten, sodass je zwei Bindungsstäbe in einem Winkel von etwa 110 ° zueinander an den runden Zentralatomen angeordnet sind. Durch die Größe und die Materialeigenschaften der Atombauteile können diese leicht von den aus **weichem biegsamem Plastik** bestehenden, grauen Einfachbindungen unterschieden werden. Von der Form her ähneln die Atombauteile also den Bauteilen der **MINITTM**-Serie, jedoch schafft die brauchbare Größe der einzelnen Komponenten eine bessere Handhabbarkeit für blinde und sehbehinderte Schüler im Gegensatz zu den zu klein geratenen **MINITTM**-Atomen. Die Atombauteile verschiedener Hybridisierung unterscheiden sich untereinander zudem optisch durch verschiedene Farben (**Kohlenstoff schwarz sp³**, **Stickstoff blau sp²**, **Sauerstoff rot sp**, **Halogene grün** und **Wasserstoff weiß**),

sodass sehbehinderte Schüler schnell auf die gewünschten Bauteile in der gut sortierten Molekülbox zugreifen können. Die grauen etwa 4 cm langen Einfachbindungen aus Weichplastik mit geriffelter Oberfläche bilden zusammen mit den Atombauteilen einen relativ starren Verbund. Dies verleiht auch größeren Molekülen Halt, was sich sehr positiv auf die Orientierung des Benutzers im Molekül auswirkt. Eine Drehung um Einfachbindungen und eine sich dadurch einstellende Orientierungslosigkeit ist dadurch, wie auch bei *MINIT*TM-Molekülen, so gut wie ausgeschlossen. Da sich die Atombauteile zusätzlich zu ihrer Oberflächenbeschaffenheit in ihrer Größe von den Bindungen abheben, wird eine einfache und präzise Interpretation von erstellten Molekülen für sehbehinderte und blinde Schüler zugelassen. Die Erstellung von ungesättigten Kohlenwasserstoffverbindungen ist durch die gute Biegsamkeit der Einfachbindungsteile problemlos möglich, ohne dass nach Jahren des Einsatzes im Chemieunterricht größere Verschleißerscheinungen zu erwarten sind. Die **Bindungsabstandsverkürzung** beim Erstellen ungesättigter Kohlenwasserstoffverbindungen werden wie im *MINIT*TM-Molekülbaukasten-System durch die Biegsamkeit der einzelnen Bindungsteile erreicht, wobei natürlich die realen Bindungsabstände nur annähernd, aber dennoch recht plastisch erreicht werden können.

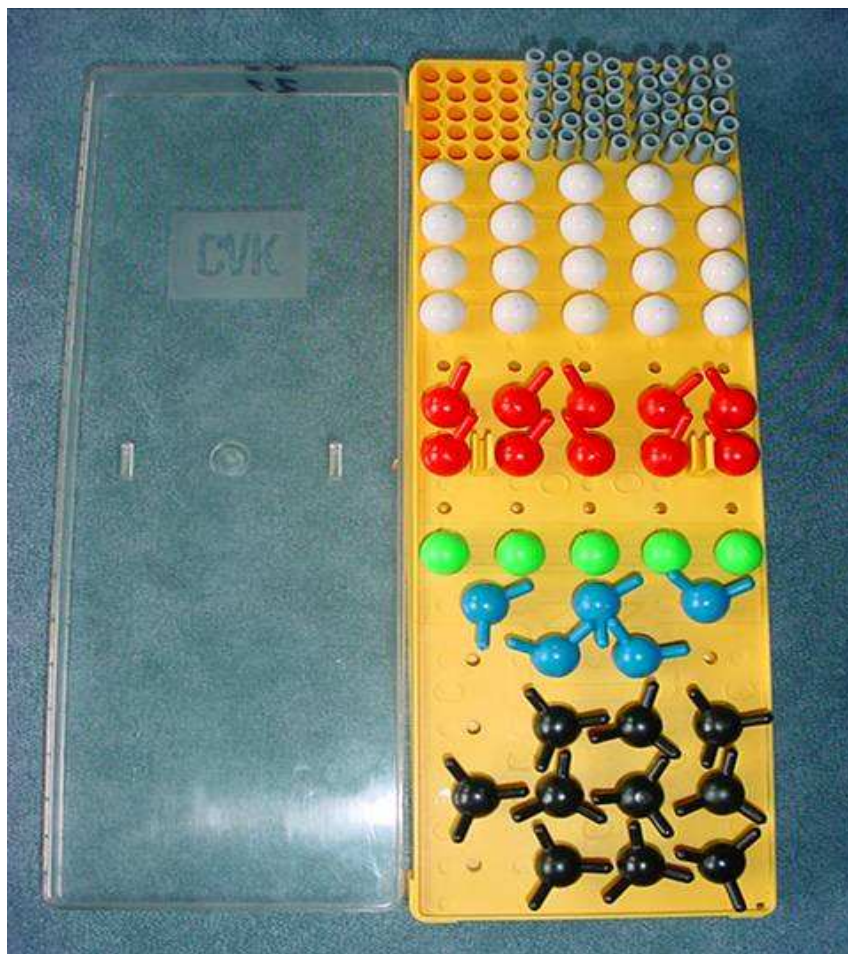


Bild 5.4: Die CVKTM-Molekülbox

Zusätzlich zur Grundausstattung des Systems sind im Lehrmittelhandel **Erweiterungs-Sets** erhältlich, mit denen die Darstellung organischer Schwefel-, Phosphor-, Nitro- und aromatischer Verbindungen gelingt. Preislich bewegt sich dieses im Preissegment der anderen käuflich zu erwerbenden Systeme von etwa 30 Euro pro Box-Set. Nachteilig ist zu sagen, dass das CVK™-System, wie die anderen Systeme auch, gänzlich auf die Modellierung freier Elektronenpaare verzichtet, was vor allem bei kleineren Molekülen enorm zum Verständnis struktureller Anordnungen und den in Zusammenhang stehenden Elektronendichteverteilungen der zentralen Atome in organischen Verbindungen beitragen würde. Ein etwa vergleichbar gutes Molekülbaukasten-System ist von der Firma **MOLYMOD™** erhältlich, zu dem allerdings im Einsatz an Blindenschulen keinerlei Erfahrungsberichte vorliegen. Folgende Bilder zeigen nochmals die Interpretation der Bindungs- und Atomverhältnisse organischer Moleküle durch das CVK™-System:

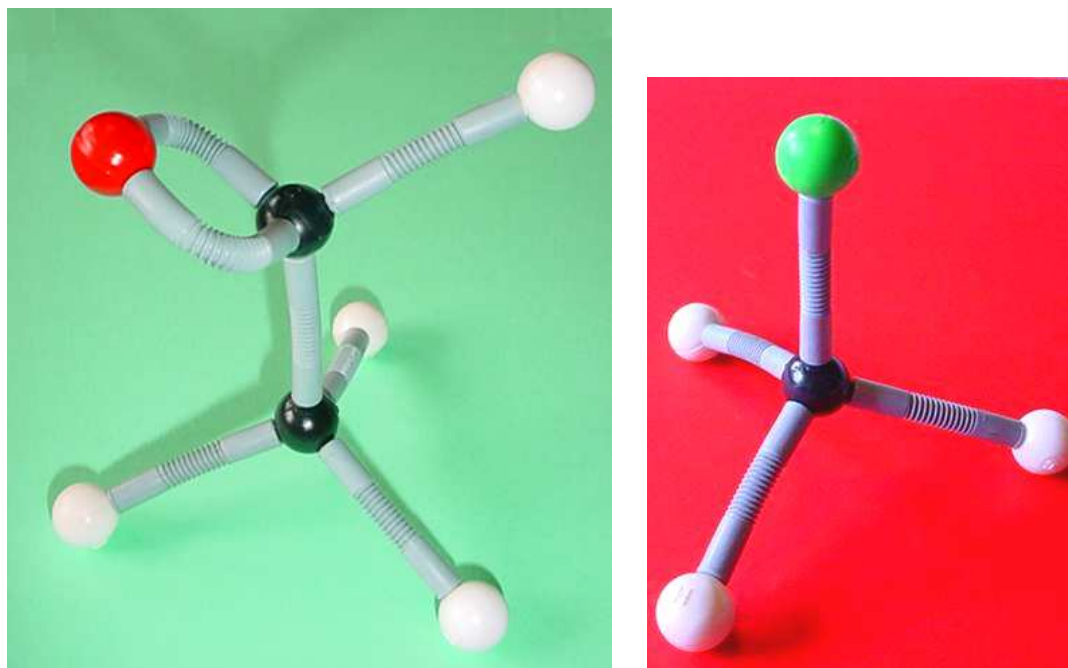


Bild 5.5: Interpretation von Atom- und Bindungsverhältnissen mit dem CVK™-Modell

e) Ein selbstgebautes Molekülbaukasten-System auf low-cost-Basis

Um nochmals auf die räumliche Struktur eines solchen Molekülmodells zu sprechen zu kommen, sei gesagt, dass sich auch **zweidimensionale Molekülmodelle** sehr gut im Einsatz in gemischten Lerngruppen bewährt haben. Nachforschungen während der Durchführung des Unterrichtsentwurfs (vgl. **Kapitel 6 ff.**) ergaben, dass selbst größere Moleküle besser durch

zweidimensionale Anordnungen von blinden und sehbehinderten Schülern erfahren wurden als im dreidimensionalen Fall. Der Vorteil der Reduktion auf die Zweidimensionalität liegt natürlich auf der Hand. Ein flach auf dem Tisch liegendes Molekülmodell kann von Anfang bis Ende von Schülerhand abgetastet werden, ohne dass man einige Stellen des Modells durch irgendwelche Verrenkungsübungen zu erreichen hat. Das Modell liegt fast unbewegt auf dem Tisch, wobei die Tischkante ein überschaubarer Fluchtpunkt für blinde Schüler sein kann. Ein räumlich angeordnetes Modell eines größeren Moleküls ist zur Erfahrung seiner Gesamtheit in beiden Händen zu drehen, was je nach Art des Molekülbaukasten-Systems schnell zu einer gewissen Orientierungslosigkeit vor allem bei blinden Schülern führen kann. Das Verlorengehen von korrekten Bindungswinkeln durch die zweidimensionale Anordnung der Moleküle schafft somit zwar eine theoretisch inkorrekte Ausrichtung der Substituenten, lässt auf diese didaktisch reduzierte Weise aber die Einfachheit der erstellten Verbindungen besser erfahren. Der Schwierigkeitsgrad der Orientierung im erstellten Molekül wird dadurch auf ein gesundes Minimum heruntergeschraubt, sodass selbst Anfänger, wie in unserem Fall sogar solche mit eingeschränkter Orientierung, im für Sehende üblichen dreidimensionalen Raum schnell eigene Modelle erstellen und diese leicht interpretieren können. Alle käuflichen Molekülmodelle lassen diese Reduktion auf den zweidimensionalen Raum außer Acht, sodass der Lehrer bei Einsatz eines zweidimensionalen Molekülmodells in gemischten Lerngruppen mit sehgeschädigten Schülern veranlasst ist, zu einem selbst erstellten Modell zu greifen. Auch die Größe der benutzten Modelle wirkt hierbei, wie oben bereits erwähnt, bei zu klein oder zu groß gewählten Bauteilen hinderlich. Das bedeutet aber, dass man als Lehrer eine Gradwanderung zwischen großen Molekülbauteilen und der Handhabbarkeit größerer Moleküle erreichen muss. Als ideale Größe sollte man die Ausmaße der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome, mit denen am meisten in der Einführungsphase des Teilgebiets Organische Chemie gearbeitet wird, gut abwägen. In einer praktischen Erprobung stellte sich heraus, die Bauteile zur Interpretation von **Wasserstoffatomen** mit einem Durchmesser von etwa **1 – 1,5 cm** und die von **Kohlenstoffatomen** dementsprechend größer mit einem Durchmesser von etwa **2 – 2,5 cm** zu wählen. Dabei sollte die Atomform an sich wie in theoretischen Betrachtungen auch eine runde Gestalt besitzen, da so Atome leicht von den geraden kovalenten Bindungsbauteilen zwischen diesen unterschieden werden können.

Das an dieser Stelle vorgestellte und eigens für diese Thematik vom Autor entwickelte Molekülmodell soll den Lehrerinnen und Lehrern, welche im Laufe ihrer Arbeit an der Schule mit sehbehinderten oder blinden Schülern konfrontiert werden, eine Hilfe sein, um theoretisches Wissen durch diese Art von Gruppenarbeitsphase bei den Schülern zu festigen. Aufgeführt werden Hilfsmittel, welche zum Erstellen eines nutzbaren Molekülbaukastens auf

zweidimensionaler Basis unbedingt erforderlich sind. Es wird versucht, deren Verwendung knapp aber dennoch detailliert wiederzugeben, wobei einige selbst erstellte Grafiken die Erstellung der Molekülbausteine veranschaulichen sollen.

- Hilfsmittel:**
- 10 Holzkugeln \varnothing 2,2 cm mit 4 Löchern (6 mm Bohrung) in 90° -Anordnung zueinander**
 - 16 Holzkugeln \varnothing 1,2 cm mit 1 Loch (4 mm Bohrung)**
 - 6 Holzkugeln verschiedenen Durchmessers ($\geq 2,5$ cm) mit 1-4 Löchern (4 - 6 mm Bohrung)**
 - 50 Nägel der Länge 6 cm \varnothing 3 mm**
 - 4 Holzkegel der Größe 2 cm (2 mm Bohrung)**
 - Silikonschlauch der Länge 1,5 Meter \varnothing 6 mm**
 - Plastikschlauch der Länge 2 Meter \varnothing 4 mm**
 - Eisenzange, Eisenfeile, Schere, Lineal**

Die Holzkugeln mit Durchmesser 2,2 cm repräsentieren die **Kohlenstoffatome** und lassen hierbei eine Vierbindigkeit durch die vier eingefrästen Löcher zu, welche jeweils in einer Ebene in einem Abstand von 90° zueinander angeordnet sind.

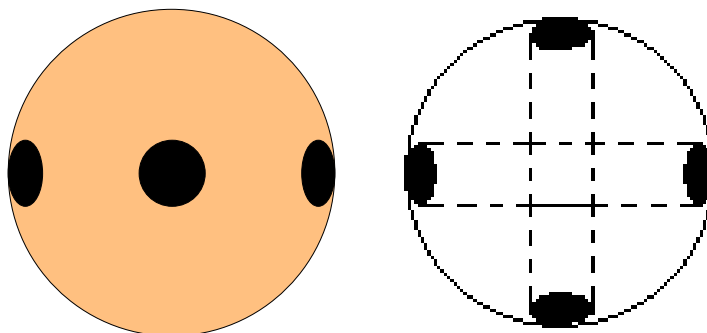


Bild 5.6: Die Fräsung der Kohlenstoffatome

Die beiden Fräsungen der Kugel wurden hier orthogonal zueinander durchgeführt. Die Holzkugeln mit kleinerem Durchmesser repräsentieren **Wasserstoffatome**. 1 cm sollte hierbei das Minimum sein, da es sonst zu Schwierigkeiten im Aufbau und in der Interpretation der

erstellten Moleküle kommen kann. Die restlichen Holzkugeln repräsentieren **Heteroatome**, wie z.B. Sauerstoff-, Stickstoff und Halogenatome. Die Größe sollte hierbei wieder nach dem tatsächlichen Wert der einzelnen Atommassen ausgewählt werden. Diese Unterscheidung der einzelnen Elemente ist wichtig für blinde Schüler, da hier nur der Tastsinn als Unterscheidungshilfsmittel zwischen den einzelnen Elementen dient. Um die einzelnen Atombausteine miteinander zu verbinden, müssen verschiedene kovalente Bindungen mit Hilfe von Nägeln und Schlauchmaterial erstellt werden. Hierzu entfernt man Kopf und Spitze der Nägel sorgfältig so weit mit einer Eisenzange, wie man für die einzelnen Bindungen braucht und feilt die Enden stumpf, sodass keine Verletzungsgefahr von den gekappten Nägeln ausgehen kann. Die Tabelle zeigt wie groß die einzelnen Nagelstücke sein müssen:

Bindung	Länge des Nagelstücks	Anzahl
C-C-Bindung	5,0 cm	10
C-H-Bindung	4,5 cm	16
C-C-Doppel(Dreifach-)bindung (außen)	5,0 cm	12
C-C-Dreifachbindung (innen)	4,0 cm	6
Elektronenpaare	3,0 cm	4
Verbindungsstücke	1,5 cm	20

Tabelle 5.7: Die Längen der einzelnen Bindungsteile

Dann überzieht man die Nägel der C-C-Bindungen und die Nägel der C-H-Bindungen mit einem **Plastikschlauch** aus dem Bastelgeschäft, sodass jeder Nagel an beiden Enden zu 0,4 cm frei ist, wie es folgende Grafik verdeutlicht:



Bild 5.8: Eine Einfachbindung mit überzogenem Plastikschlauch

Dann schneidet man den **Silikonschlauch mit 6 mm Durchmesser** in kleine Teile. Man benötigt 20 Stücke à 2,5 cm, sowie 52 Stücke à 1,5 cm. Diese werden anschließend an die Enden der Bindungen angebracht, wobei die C-H-Bindungen nur jeweils an einem Ende mit

Silikonschlauch versehen werden. Die so fertig gestellten C-H-Bindungen werden am anderen Ende mit je einer 1,2 cm dicken Holzkugel versehen. Die äußeren C-C-Doppel- bzw. Dreifachbindungen bekommen hierbei die 20 Stücke à 2,5 cm. Beim Anbringen der Silikonschlauchstücke ist drauf zu achten, dass der Silikonschlauch gerade so über den Plastikschauch ragt, wie die Grafik verdeutlicht:



Bild 5.9: Der Querschnitt einer fertig gestellten Einfachbindung

Die Silikonschlauchstücke für die äußeren C-C-Doppel(Dreifach-)bindungen wurden länger gewählt, um eine gewisse Flexibilität der Bindung beim Zusammensetzen zu gewährleisten. In die längeren Silikonschlauchenden wird zur besseren Stabilität ein zusätzliches **Verbindungsstück aus Eisen** eingesetzt, damit man beim Bauen einer C-C-Doppel- bzw. Dreifachbindung eine gewisse Festigkeit erreicht. Folgende Grafik verdeutlicht dies:

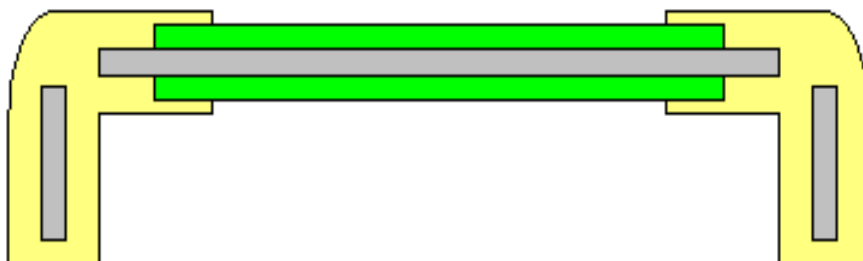


Bild 5.10: Der Querschnitt einer äußeren C-C-Doppelbindung

Auch die freien Elektronenpaare, welche hier durch Holzkegel repräsentiert werden, versieht man mit einem 3 cm großen Nagelstück und zieht über das sich verjüngende Ende des Kegels

einen 1,5 cm langen Silikonschlauch. Nun kann man munter drauf losbasteln, einige Beispiele seien hier grafisch dargestellt:

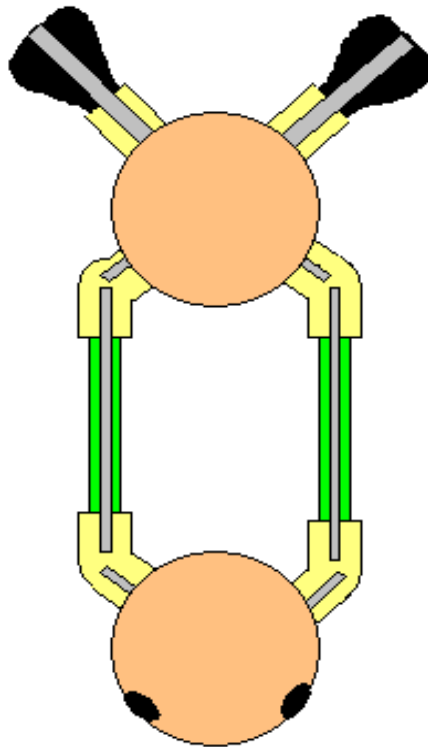


Bild 5.11: Angedeutete C-O-Doppelbindung mit freien Elektronenpaaren

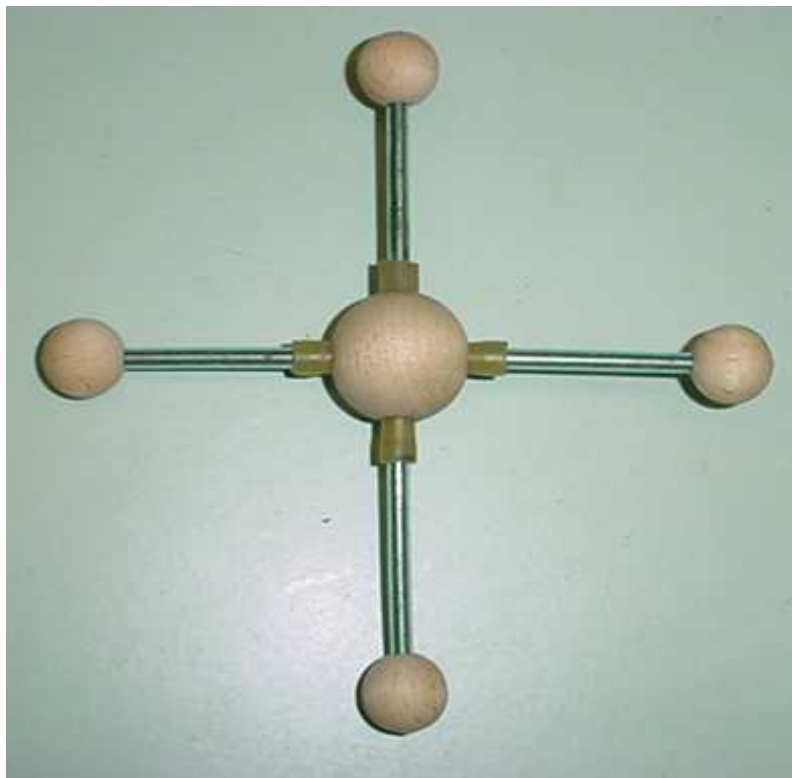


Bild 5.12: Ein Methan-Molekül auf zweidimensionaler Basis

Es lassen sich so auf einfachste Weise auch komplexere Molekülstrukturen für sehgeschädigte Schüler didaktisch reduziert veranschaulichen. Das folgende Foto zeigt den Einsatz des zweidimensionalen Molekülmodells in der *Carl-Strehl*-Schule:



Bild 5.13: Einsatz des zweidimensionalen Modells in der *Carl-Strehl*-Schule

f) Die Magnet-Legetafeln

In der *Carl-Strehl*-Schule in Marburg werden seit längerer Zeit zusätzlich zu den *CVK*TM-Modellbaukästen und der Erstellung von Strukturformeln durch *LiTeX* im Haus entworfene **Magnet-Legetafeln** eingesetzt. Auf diesen Tafeln können sehbehinderte und vor allem blinde Schüler Strukturformeln und Reaktionsgleichungen auf zweidimensionaler Basis erstellen, wie man es von Zeichnungen in Schulbüchern her kennt. Die einzelnen „Bauteile“ von Molekülen in Strukturformelweise wie Elemente, Bindungen und freie Elektronen (Radikale und Elektronenpaare) werden durch verschiedene einfach zu ertastende geometrische Symbole dargestellt. Das Kohlenstoffatom etwa wird durch ein größeres schwarzes Quadrat symbolisiert. Im Vergleich dazu beträgt die Größe der weißen quadratischen Wasserstoffatome nur etwa ein Viertel der Größe der Kohlenstoffatome. Einfachbindungen und freie Elektronenpaare werden analog der *Lewis*-Schreibweise von Molekülen durch rote längliche Rechteckteile dargestellt. Blaue Dreiecke stehen für Stickstoffatome, hingegen alle anderen Atome, wie Sauerstoff-, Halogenatome, etc., sowie auch freie Elektronen, sind in dieses System durch kreisartige in ihrer Größe und Farbe unterschiedliche Bausteine integriert

worden. Das **Bild 5.14: Die Magnet-Legetafeln der Carl-Strehl-Schule** zeigt, wie man diese verschiedenen Symboliken anordnen kann, um ein sich selbst erklärendes Molekül (hier ein Essigsäure-Molekül) zu erstellen.

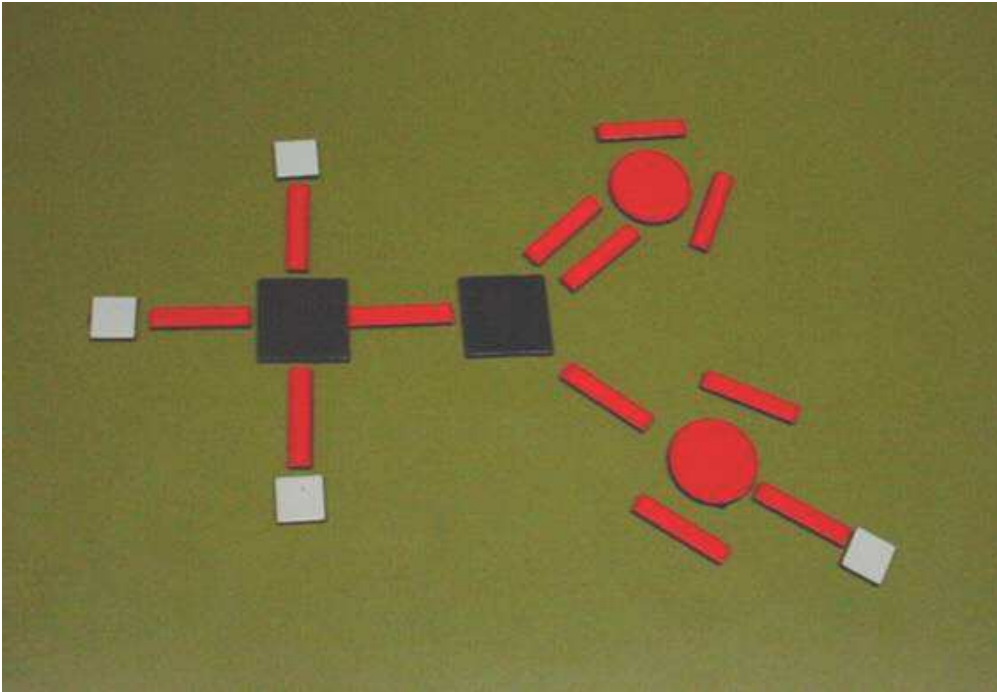


Bild 5.14: Die Magnet-Legetafeln der Carl-Strehl-Schule

Diese Methode hat zwei große Vorteile. Durch die Fixierung der Strukturformel über die magnetischen Bauteile auf einem festgelegten Rahmen der Legetafel, können sich Blinde auf diesen Konzeptionen gut orientieren. Unabsichtliches Zerstören durch leichte Berührung der erstellten flächigen Anordnungen bleibt zudem weitestgehend aus. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch Vergleichen der eingesetzten Bauteile auf beiden Reaktionsseiten immer eine korrekte stöchiometrische Einrichtung von Reaktionsgleichungen möglich ist. Alle Bauteile auf der Edukt-Seite der Gleichung müssen auf der Produkt-Seite wieder auftauchen. Dadurch wird die *Lewis*-Interpretation eines Reaktionsverlaufes durch Austausch von Elektronen und funktionellen Gruppen deutlich.

5.2 Das Periodensystem der Elemente (PSE)

Das **Periodensystem der Elemente** (kurz **PSE**) zählt vor allem bei quantitativen Bestimmungen zu einem unerlässlichen Hilfsmittel während der Einführung der Organischen Chemie. In gemischten Lerngruppen aus sehbehinderten und blinden Schülern sollte ein leicht

zu handhabendes Periodensystem eingesetzt werden. Nichts ist frustrierender, als sich im Unterricht bei der Auswertung einer Versuchsbeobachtung ohne Grundlagen zu bewegen, was sich durch die fehlende Transparenz zu komplex gestalteter Periodensysteme schnell einstellen kann. Die üblichen Periodensysteme, welche man käuflich erwerben, in den gebräuchlichsten Schulbüchern Verwendung finden oder durch Recherche im Internet bekommen kann, besitzen alle eine Menge Informationen. Alle Angaben zu den **Atommassen, Elektronenkonfigurationen, Elektronegativitäten, Schmelz- und Siedepunkte, bevorzugte Oxidationszahlen**, u.ä., müssen dabei meist auf nur wenigen Quadratzentimetern Platz finden. Folgendes Beispiel zeigt einen Ausschnitt aus einem **kostenlos zu erwerbenden Periodensystem** aus dem Internet mit einer sehr großen Menge an Informationen.

13	14	15	16	17	
3. Hg	IIIA 4. Hg	IVA 5. Hg	VA 6. Hg	VIA 7. Hg	VIIA
10,811 $[\text{He}]2s^22p^1$ 5B 3 2300 2550 Bor	12,0107 $[\text{He}]2s^22p^2$ 6C -4,2,4 3550 4827 Kohlenstoff	14,00674 $[\text{He}]2s^22p^3$ 7N -3,2,3,4,5 -210 -196 Stickstoff	15,9994 $[\text{He}]2s^22p^4$ 8O -2,-1 -218 -183 Sauerstoff	18,9984032 $[\text{He}]2s^22p^5$ 9F -1 -220 -188 Fluor	
26,981538 $[\text{Ne}]3s^23p^1$ 13Al 3 661 2467 Aluminium	28,0855 $[\text{Ne}]3s^23p^2$ 14Si -4,4 1410 2355 Silicium	30,973761 $[\text{Ne}]3s^23p^3$ 15P -3,3,5 44 280 Phosphor	32,066 $[\text{Ne}]3s^23p^4$ 16S -2,2,4,6 113 445 Schwefel	35,4527 $[\text{Ne}]3s^23p^5$ 17Cl -1,1,3,5,7 -101 -35 Chlor	
69,723 $[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^1$ 31Ga 3 30 2403 Gallium	72,61 $[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^2$ 32Ge 4 937 2830 Germanium	74,92160 $[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^3$ 33As -3,3,5 613(subl.) - Arsen	78,96 $[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^4$ 34Se -2,4,6 217 685 Selen	79,904 $[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^5$ 35Br -1,1,3,5,7 -7 59 Brom	
114,818 $[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^1$ 49In 3 157 2080 Indium	118,710 $[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^2$ 50Sn 2,4 232 2270 Zinn	121,760 $[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^3$ 51Sb -3,3,5 631 1750 Antimon	127,60 $[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^4$ 52Te -2,4,6 450 990 Tellur	126,90447 $[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^5$ 53I -1,1,5,7 114 184 Iod	

Bild 5.15: Das Periodensystem der Elemente - Eine Herausforderung

Wenn man mal alle Informationen, die in der Organischen Chemie nur zu einem verschwindend geringen Teil gebraucht werden aus diesem System streicht, sieht das ganze schon besser aus. Am Beispiel des Elementes Kohlenstoff sollen im Folgenden einige wichtige Verbesserungsvorschläge plausibel dargestellt werden. Dieser Optimierungsprozess lässt z.B. Informationen über die Elektronenkonfiguration oder Schmelz- und Siedepunktangaben

außen vor, da diese in den Teilgebieten der Organischen Chemie im Prinzip nicht von Bedeutung sind. Angaben wie Oxidationszahlen oder Elektronegativitäten der einzelnen Elemente bleiben hingegen aus analogem Grund bestehen. Doch auch diese Aussortierung lässt das Periodensystem für sehbehinderte und blinde Schüler noch zu komplex aussehen, sodass man als Lehrer gezwungen ist, in einem weiteren Auswahlverfahren nur die wichtigsten Angaben zu den Elementen für ein neues Konzept zu übernehmen. Notwendigerweise ergibt sich dann folgende Beschränkung:

<p>14</p> <p>4. Hg IVA</p> <p>12,0107 [He]2s²2p²</p> <p>6C</p> <p>-4,2,4</p> <p>3550 2.5 4827 11.3</p> <p>Kohlenstoff</p>	<p>14</p> <p>4. Hg</p> <p>12,0107</p> <p>6C</p> <p>-4,2,4</p> <p>2.5</p>	<p>4</p> <p>12,0107</p> <p>6C</p>
---	--	---

Bild 5.16: Das Element Kohlenstoff im PSE vor und nach dem „Optimierungsprozess“

Die Angaben für Elektronegativität erübrigen sich zudem, da sich die Schüler in der Organischen Chemie darauf beschränken können, dass die Elektronegativität innerhalb einer Gruppe von oben nach unten bzw. innerhalb einer Periode von rechts nach links fällt, was bis auf wenige Ausnahmen auf alle Perioden der Hauptgruppen zutrifft. Das reicht als Information in der Organischen Chemie schon, da hier sowieso fast nur mit Hauptgruppenelementen gearbeitet wird. Das ist auch der Grund dafür, dass die Angaben zur Gruppenzuordnung oberhalb des Kohlenstoffkästchens lediglich auf die Nummerierung von Hauptgruppen beschränkt werden können. Nebenbei ist aus dieser Nummerierung auch die Anzahl der Valenzelektronen in der äußersten Schale der jeweiligen Elemente ableitbar. Zusätzlich ist es noch wichtig, die Angaben zu den Atommassen und Ordnungszahlen beizubehalten, da sie zum einen, wie der Name Ordnungszahl ja schon sagt, eine Art Ordnung in das Gros der verschiedenen Elemente bringt und zum anderen die Atommassenangaben zur Errechnung von Molaren Massen für die Quantitative Elementaranalyse unerlässlich sind. Für blinde Schüler existieren an der *Carl-Strehl*-Schule selbst entworfene taktile Periodensysteme, welche sich auf genau diese Angaben beschränken. Die Dimensionierung solcher Periodensysteme von 50 x 75 cm lässt jedoch einen Transport in einer herkömmlichen

Schultasche nicht zu, sodass blinde Schüler diese nicht ständig mit sich führen können. Folgendes Bild zeigt ein Periodensystem auf taktiler Basis:

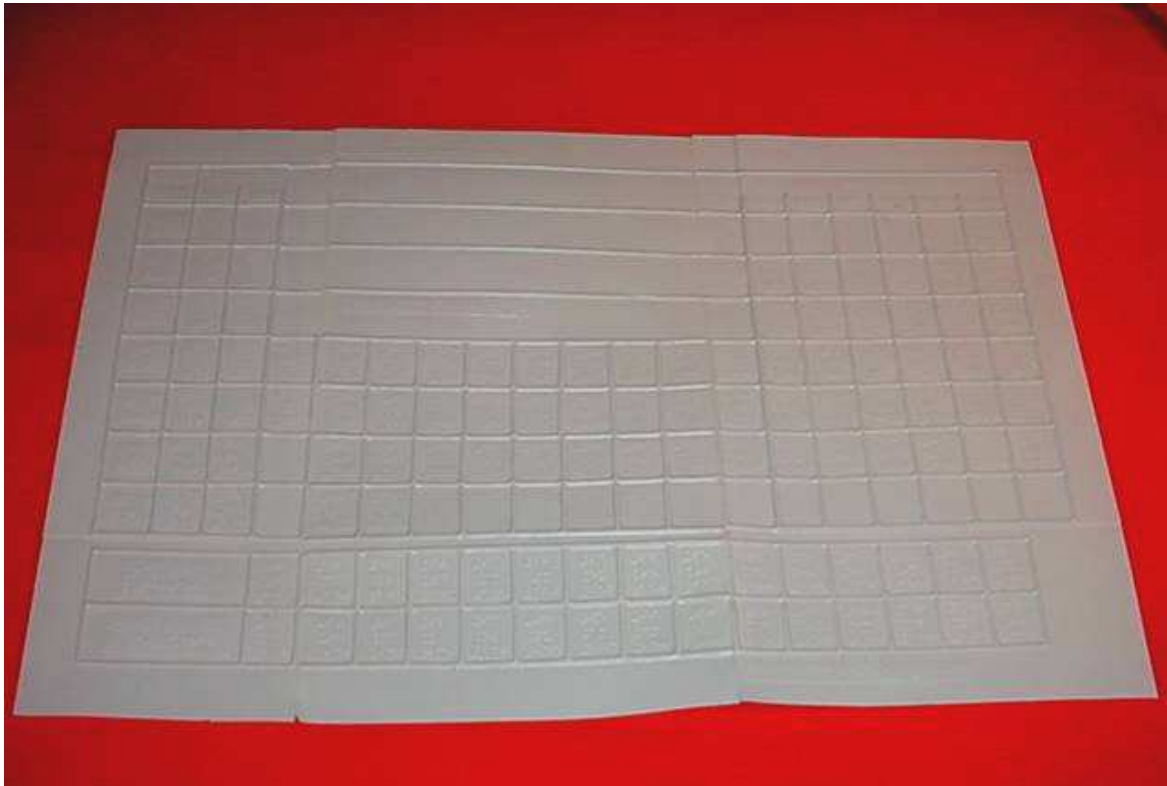


Bild 5.17: Ein taktiles Periodensystem der Elemente (Carl-Strehl-Schule)

Wie man in **Bild 5.16: Das Element Kohlenstoff im PSE vor und nach dem „Optimierungsprozess“** erkennen kann, lässt der gesamte **Schrumpfungsprozess** ganz im Gegensatz zu blinden Schülern, für die die Angaben des Periodensystems in einer standardisierten Punktschriftgröße vorliegen, für sehbehinderte Schüler noch ein gewisses Maß an Leserlichkeit und dadurch entstehender Transparenz vermissen. Eine bessere Anordnung der wenigen Angaben und eine optimierte Schriftart schaffen hier zunächst Abhilfe. Die Reduzierung der Atommasse auf (annähernd) ganzzahlige Werte vereinfacht das Ganze dann nochmals und erleichtert zudem die Bestimmung Molarer Masse von organischen Verbindungen enorm.

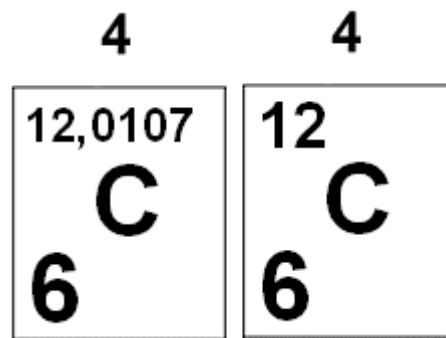


Bild 5.18: Optisch maximiertes Element am Beispiel Kohlenstoff

Die Ausgabe des so erstellten Periodensystems kann dann in einer tabellarischen Form in *MS-Word*TM erfolgen, wobei die Formelvorlage *LiTeX* eine eben solches beinhaltet. Zu finden ist dieses Periodensystem in **Anhang 25** dieser Arbeit befindet. So können sehbehinderte Schüler die Werte per Vergrößerungsprogramme, wie *ZoomText*TM oder *MAGic*TM, individuell an ihre vorhandene Sehschärfe anpassen. Blinde Schüler können sich innerhalb des auf Textbasis erstellten Periodensystems mit Hilfe von *Jaws*TM gut zurechtfinden.

3	4	5	6	7
5 B 11	6 C 12	7 N 14	8 O 16	9 F 19
13 Al 27	14 Si 28	15 P 21	16 S 32	17 Cl 35
31 Ga 70	32 Ge 73	33 As 75	34 Se 79	35 Br 80

Bild 5.19: Ausschnitt aus dem weiter vereinfachten Periodensystem

Da dieses Periodensystem direkt im ständig genutzten Arbeitsprogramm des Chemieunterrichts integriert ist, wird ein sehr schnelles Arbeiten auch aufgrund sehr guter Bedienbarkeit ermöglicht. Ein brauchbares Periodensystem in **Papierform** auf der oben dargestellten Basis kann allerdings nur sehbehinderten Schülern an die Hand gegeben werden. Blinde Schüler bleiben dabei außen vor. Zusätzlich zu der eher schwarzweiß gehaltenen Gestaltung des didaktisch reduzierten Periodensystems, können zusammengehörige Elementgruppen mit einer gemeinsamen Farbe hinterlegt werden. So können Elemente derselben **Hauptquantenzahl** die gleiche Farbe bekommen, um so auch die Nebenelemente bzw. die Lanthanoiden und Actinoiden den Hauptgruppen mit gleicher Hauptquantenzahl zuzuordnen. Andererseits könnte man diese auch in **Metalle, Nichtmetalle, Übergangsmetalle, Edelgase** und **Elemente der f-Serie** einteilen, um ihre (physikalischen) Eigenschaften hervorzuheben. Es wäre zudem auch möglich, die Einteilung nach den verschiedenen Aggregatzuständen zu vollziehen, wovon aber abzuraten ist. Es sei nebenbei erwähnt, dass diese Einteilungen für blinde Schüler in den vorliegenden taktilen Periodensystemen nicht integriert wurden. Ein Beispiel für erstere Einteilung nach Hauptquantenzahlen ist die folgende nach **Prof. Dr. Hans-Helmut Kohler** von der Universität Regensburg:

— gruppen

Nebengruppen							III(13)	IV(14)	V(15)	VI(16)	VII(17)	VIII(18)	Schale Hauptquantenzahl n	
												4 2He Helium 1 ⁺	K n = 1	
							11 5B Bor 1 ⁺	12 6C Kohlenstoff 1 ⁺	14 7N Stickstoff 1 ⁺	16 8O Sauerstoff 1 ⁺	19 9F Fluor 1 ⁺	20 10Ne Neon 1 ⁺	L n = 2	
							27 13Al Aluminium 1 ⁺	28 14Si Silizium 1 ⁺	31 15P Phosphor 1 ⁺	32 16S Schwefel 1 ⁺	35 17Cl Chlor 1 ⁺	40 18Ar Argon 1 ⁺	M n = 3	
VIIb(6) 52 24Cr Chrom 3 ⁺ 4 ⁺	VIIb(7) 55 25Mn Mangan 3 ⁺	VIIIb(8, 9, 10) 56 26Fe Eisen 2 ⁺ 3 ⁺			58 28Ni Nickel 2 ⁺ 3 ⁺	Ib(11) 63 29Cu Kupfer 1 ⁺ 2 ⁺	64 30Zn Zink 2 ⁺	69 31Ga Gallium 3 ⁺	74 32Ge Germanium 4 ⁺	75 33As Arsen 3 ⁺	79 34Se Selen 4 ⁺	80 35Br Brom 4 ⁺	84 36Kr Krypton 4 ⁺	N n = 4
98 42Mo Molybdän 4 ⁺ 5 ⁺	(98)* 43Tc Technetium 4 ⁺ 5 ⁺	102 44Ru Ruthenium 4 ⁺ 5 ⁺	103 45Rh Rhodium 4 ⁺ 5 ⁺	105 46Pd Palladium 4 ⁺ 5 ⁺	107 47Ag Silber 1 ⁺ 2 ⁺	114 48Cd Cadmium 2 ⁺	115 49In Indium 3 ⁺	120 50Sn Zinn 4 ⁺	121 51Sb Antimon 3 ⁺	130 52Te Tellur 4 ⁺	127 53I Jod 5 ⁺	132 54Xe Xenon 5 ⁺	O n = 5	
184 74W Wolfram 6 ⁺	187 75Re Rhenium 6 ⁺	192 76Os Osmium 6 ⁺	193 77Ir Iridium 6 ⁺	195 78Pt Platin 5 ⁺ 6 ⁺	197 79Au Gold 1 ⁺ 2 ⁺ 3 ⁺	202 80Hg Quecksilber 2 ⁺	205 81Tl Thallium 3 ⁺	206 82Pb Blei 4 ⁺	209 83Bi Bismut 5 ⁺	(209)* 84Po Polonium 6 ⁺	(210)* 85At Astat 7 ⁺	(222)* 86Rn Radon 7 ⁺	P n = 6	
(266)* 106Sg Seaborgium	(264)* 107Bh Bohrium	(269)* 108Hs Hassium	(268)* 109Mt Meitnerium	(271)* 110	(272)* 111	(277)* 112							Q n = 7	
d ¹	d ⁵	d ⁸	d ⁷	d ⁸	d ¹⁰		p ²	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶		

des Periodensystems

- Nukleonenzahl = Protonenzahl + Neutronenzahl
- häufigstes natürliches Isotop
- Protonenzahl = Ordnungszahl
- Elektronenzahl = Ordnungszahl
- (*) Nukleonenzahl im langlebigen Isotop
- n (1 Proton) = 1 u
- n (1 Neutron) = 1 u
- alle Isotope der Atomart sind radioaktiv
- alle Isotope nur künstlich
- Fortschreibung Name

Bild 5.20: Ein käuflich zu erwerbendes Klapp-Periodensystem nach Kohler

Der Ausschnitt zeigt diese oben erwähnte Einteilung sehr gut und offenbart die durchschaubare Übersichtlichkeit des didaktisch doch sehr reduzierten Periodensystems für Sehende. Es handelt sich hierbei um ein in DinA6-Format zusammenklappbares System, welches leicht transportiert werden kann. Auf der Rückseite befinden sich alle zusätzlichen Informationen, welche man dann im Unterricht der Allgemeinen und Anorganischen Chemie nutzen kann. Die geringe Größe des Periodensystems bringt nachteilig mit sich, dass sich die Angaben zu den jeweiligen Elementen in relativ kleinen Schriftgrößen bewegen und in sehr geringer Kontrastschärfe eine hohe Konzentration der sehbehinderten Nutzer erfordert. Doch auch die zweite erwähnte Einteilung der Elemente in Metalle, Nichtmetalle, etc. soll nicht außer Acht gelassen werden. Diese Einteilung wird in einem vom Autor selbst erstellten Periodensystem verwirklicht, welches durch eine neue Konzeption sehbehinderten Schülern eine visuelle und blinden Schülern eine taktile Erfahrung seiner enthaltenen Informationen ermöglicht.

Gruppe ⠠⠠⠠⠠⠠	1	2	3	4	5	6	7	8
Periode ⠠⠠⠠⠠⠠	⠠⠠	⠠⠠⠠	⠠⠠⠠⠠	⠠⠠⠠	⠠⠠	⠠⠠⠠	⠠⠠⠠⠠	⠠⠠⠠⠠⠠
1	1 H 1							2 He 4
2	3 Li 7	4 Be 9	5 B 11	6 C 12	7 N 14	8 O 16	9 F 19	10 Ne 20
3	11 Na 23	12 Mg 24	13 Al 27	14 Si 28	15 P 31	16 S 32	17 Cl 35	18 Ar 40
4	19 K 39	20 Ca 40	31 Ga 70	32 Ge 73	33 As 75	34 Se 79	35 Br 80	36 Kr 84
5	37 Rb 85	38 Sr 88					53 I 127	54 Xe 131
6	55 Cs 133	56 Ba 137						

Bild 5.21: Entwurf eines neuen Periodensystems für Blinde und Sehbehinderte

Das Schaubild zeigt hierbei einen Ausschnitt dieses Periodensystems, welches die Vorzüge von Einfachheit und Transparenz mit dem Maximum an Information speziell für die Organische Chemie zu vereinen versucht. Integrierte **Braille-Schriftzeichen** für blinde Benutzer sind für den sehenden Leser zur besseren Sichtbarkeit als schwarze Punkte dargestellt. Dies soll **blinden und sehbehinderten Schülern** gleichermaßen die Möglichkeit geben, ein und dasselbe **Periodensystem in Papierform** ohne Einschränkungen nutzen zu können. Zusammen mit verschiedenem Tabellenmaterial (**vgl. Tabelle 12.1: Einfache n-Alkane auf Seite 171**) werden so die Informationsgrundlagen geschaffen, welche die gemischte Lerngruppe während des gesamten Themengebietes Organische Chemie begleiten. Als Orientierungshilfe im Periodensystem dienen für sehbehinderte Schüler kräftige Farben, welche sich jedoch nur auf den *Braille*-Schrift-Feldern wieder finden und somit die Lesbarkeit des Systems in keinsten Weise negativ beeinflusst wird. Schriftzeichen wie Elementsymbole, Ordnungszahl und die gerundete Atommasse sind im System als **Schwarz-weiß-Druck** integriert. Auch die Gruppen- und Periodenangabe wurde bei der Konzeption nur auf das Notwendigste beschränkt und lässt somit keinerlei Irreführung in der Handhabung zu. Blinde Schüler erfahren das Periodensystem als taktiles Raster, wobei alle Ränder und *Braille*-Zeichen taktil erfahrbar sind, sodass auch hier eine gute Überschaubarkeit und eine dadurch erleichterte Orientierung gewährleistet sind. Daneben kann man gut die in *Braille*-Schrift übersetzten Informationen des Elementsymbols in der Mitte, der Ordnungszahl oberhalb und der gerundeten Atommasse unterhalb des Elementsymbols erkennen. Die farbige Untermalung der einzelnen Elemente bezeichnet dabei die oben erwähnte Einteilung in **Metalle** (helllila), **Nichtmetalle** (hellgrün) und **Edelgase** (gelb). Diese Einteilung wurde zusätzlich durch verschiedene Symboliken in der jeweils linken oberen Ecke des Elementrahmens dargestellt, sodass auch blinden Schülern eine Zuordnungsmöglichkeit geschaffen wurde. Auf andere Elemente wurde verzichtet, da das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Periodensystem bislang nur auf einem Entwurf basiert und kaum Praxiserfahrung hat. Alles in allem ein überschaubares System, welches die Arbeit in der Organischen Chemie sehr erleichtern kann. Ein weiteres Konzept auf der gleichen Basis des obigen Periodensystems mit anderen Kontrastschärfen speziell für Sehbehinderte ist in **Anhang 26** zu finden.

6 Eine Einführung in die Organische Chemie

Aufgrund der speziellen Stellung der *Carl-Strehl-Schule in Marburg* als Privatschule soll an dieser Stelle der dort geltende **alte Lehrplan** für Gymnasien in Hessen, im Folgenden der Einfachheit halber als Lehrplan bezeichnet, näher betrachtet werden. Dieser Lehrplan gründet sich noch auf einen zeitlichen Rahmen von **13 Schuljahren**, welcher den Lehrern einer Schulklasse aus sehbehinderten und blinden Schülern im Allgemeinen mehr zeitlich-organisatorische Freiräume ermöglicht, als der neue Lehrplan G8 mit nur 12 Schuljahren.

Der Unterricht im Fach Chemie beginnt in der 8. Jahrgangsstufe mit der Einführung in die „**Allgemeine und Anorganische Chemie**“ und verläuft nach den Richtlinien des alten Lehrplans in Hessen bis in die 13. Jahrgangsstufe, sodass Chemie einigen Schülern auch in der Abiturzeit begegnen kann. An dieser Stelle sei erwähnt, dass es vor dem Schuljahr 2002/2003 noch so war, dass der Chemieunterricht der Sekundarstufe I in der 9. Klasse begann und somit den Schülern das chemische Grundverständnis in einem kürzeren Zeitraum als jetzt vermittelt werden musste. Gerade in Lerngruppen mit Schülern, die durch ihre Behinderung einen Unterricht mit erheblichen Einbußen seitens der Zeitplanung genießen, ist dieser Zeitraum von höchstens 5 Jahren einfach zu knapp bemessen, um den Schülern alle wichtigen Aspekte der Chemie in ihrer gesamten Breite vermitteln zu können.

In dieser Arbeit sollen wichtige Aspekte zur Didaktik und Methodik des gymnasialen Chemieunterrichts anhand des Einführungsunterrichts in die „**Organische Chemie**“ diskutiert werden. Seinen Platz im Lehrplan des Landes Hessen findet die Organische Chemie ab dem zweiten Halbjahr des 11. Schuljahres, im weiteren Verlauf der Arbeit mit **11/2** abgekürzt, bis hin zum 13. Schuljahr und bildet somit den zweiten großen Teil des Chemieunterrichts neben dem Gebiet der „Allgemeinen und Anorganischen Chemie“. Der Lehrplan schlägt zur Einführung in die Organische Chemie einen **26-stündigen Lernzyklus** vor, in dem zunächst grundlegende Betrachtungen diskutiert werden sollen. Als guten Einblick in die Materie sollen in dieser Arbeit nun die ersten Stunden dieser Einstiegsphase dienen, wobei die bewährte Fachdidaktik eines gemeinsamen Chemieunterrichts blinder und sehbehinderter Schüler in der *Carl-Strehl-Schule in Marburg*, unter Berücksichtigung wichtiger methodischer Ansätze problemorientiert hinterfragt werden soll, um gegebenenfalls einige alternative Unterrichtsvorschläge zu empfehlen.

6.1 Die Organische Chemie der gymnasialen Oberstufe in 11/2

Als Vorüberlegung sollen zunächst einige **anthropologische Bedingungen** genannt, sowie die **institutionellen Voraussetzungen** des Klassenverbandes geklärt werden, in dem ein solcher Unterricht ohne größere Schwierigkeiten durchzuführen wäre. Der hier vorgeschlagene Unterrichtsentwurf wurde auf der Basis einer **gemischten Lerngruppe, bestehend aus blinden und sehbehinderten Schülern**, strukturiert. Gemischte Lerngruppen bieten im Vergleich zu reinen blinden oder reinen sehbehinderten Lerngruppen viele Vorteile. Es kann je nach Unterrichtssituation jedoch auch sein, dass die „reinen Lerngruppen“ sich in einigen Lernphasen als die Günstigeren erweisen. Eine Gegenüberstellung der einzelnen **Vor- und Nachteile** beider Lerngruppen sei im folgenden Unterrichtsentwurf immer dann erwähnt, wenn es aus Sicht des Autors für notwendig erscheint. Beide Standpunkte werden dann zum besseren Verständnis für den Leser an konkreten didaktischen und methodischen Zusammenhängen im Unterricht beleuchtet.

Zunächst sollte die Lerngruppe über ein gewisses **chemisches Grundwissen** aus der Anorganischen Chemie der Sekundarstufe I verfügen. Das trägt enorm zum Verständnis der Denkweisen in der Organischen Chemie bei. Deshalb sollte sich der Lehrer vor Beginn des vorgeschlagenen Unterrichtsentwurfs darüber im Klaren sein, wie und ob er überhaupt den gewünschten Weg einschlagen kann. Auch beim Einsatz chemischer Schulversuche sollte der Lehrer abschätzen können, in wie weit sich die Schüler, besonders bei der vorliegenden gemischten Klassenstruktur mit sehbehinderten und blinden Schülern, im praktischen Arbeiten zurechtfinden. Diese Grundlagen für einen reibungslosen Chemieunterricht sind nicht bei allen Schülern gleichermaßen gegeben. Im Chemieunterricht der elften Klasse an der *Carl-Strehl*-Schule etwa finden sich Schüler mit den verschiedensten Lernniveaus wieder. Das liegt vor allem daran, dass diese Schüler die Sekundarstufe I an verschiedenen Schulen absolviert haben und dabei mehr oder weniger stark mit dem Fach Chemie in Berührung gekommen sind. Als Lehrer muss man sich daher natürlich den lernschwächsten Schülern anpassen und muss deshalb in der Planung der Unterrichtsstunden genügend Puffer für unplanmäßige Wiederholungsphasen einrechnen. Zum anderen kann auch der individuelle Behinderungsgrad eine soziale Diskrepanz zwischen den Schülern der Lerngruppe bedingen. Aufgrund dessen ist es sehr wichtig, die **soziale Komponente** innerhalb des Klassenverbandes auf seine Stabilität hin zu prüfen. Jeder Lehrer wünscht sich eine reife und disziplinierte Schülergruppe, um dann mit ruhigem Wissen und Gewissen an den praktischen Teil des Chemieunterrichts herangehen zu können. Jedoch gerade in einer wie oben beschriebenen eher zusammengewürfelten Lerngruppe kann es sein, dass sich kleine

Grüppchen bilden und einzelne Schüler von ihren Mitschülern nicht in die Gruppen-gemeinschaft integriert werden. Man sollte deshalb als Lehrer deshalb gerade im Kurs-System, wo sich Schüler zusammenfinden, die vorher noch nie in einer gemeinsamen Unterrichtsstruktur waren, auf die Integration jedes einzelnen Schülers achten. Hilfreich sind dabei natürlich Gruppenphasen, welche zu späterer Stelle neben anderen Strategien, zur Optimierung des sozialen Klassengefüges anhand von Beispielen im Unterrichtsentwurf erklärt werden. Diese Integrationsstrategien ermöglichen dem Lehrer den Unterricht flüssiger zu gestalten, ohne sich um etwaige soziale Diskrepanzprobleme sorgen zu müssen. Die Schüler werden durch die optimale Wahl geeigneter Methodiken schnell ein Teil des Ganzen und somit entsteht eine große Gemeinschaft, was zu einer Steigerung der Produktivität des Chemieunterrichts führen kann. Der praktische Teil des Faches Chemie besteht hauptsächlich aus Experimenten und Demonstrationen, welche der Lehrer unterstützend für seinen theoretischen Unterricht einsetzen sollte.

Aus **psychomotorischer Sicht** ist die vom Autor empfohlene Arbeitsmethode beim Einsatz von Schulversuchen im Chemieunterricht der **Lehrer-Schüler-Versuch**, wobei der Lehrer den Versuch durchführt und sich dabei von den Schülern der Lerngruppe assistieren lässt. Phänomene, welche während der Durchführung der Lehrer-Schüler-Versuche zu beobachten sind, sollten hierbei nach Möglichkeit von allen Schülern erfahren werden, indem es ihnen seitens des Lehrers ermöglicht wird, die Versuche in der Gesamtheit mitzuverfolgen. Dadurch wird es dem Lehrer erleichtert, Probleme bei der Durchführung der Experimente zu erkennen und *in situ* zu korrigieren. Diese Probleme können zum einen **Verständnisprobleme** der Theorie sein, welche hinter den einzelnen Experimenten steht. Zum anderen können diese Probleme auch rein **phänomenologischer Art** sein, z.B. dass ein sehbehinderter Schüler der gemischten Lerngruppe eine einfache Fällung eines weißen Feststoffes nicht als solchen zu erkennen vermag. Die Anwendung von reinen Schülerversuchen im Chemieunterricht lässt sich in gemischten Lerngruppen mit blinden und sehbehinderten Schülern nur dann realisieren, wenn eine 1 : 1 Überwachung seitens des Lehrers ermöglicht werden kann, da das Sicherheitsrisiko ansonsten viel zu hoch ist. Für die nähere Betrachtung des Einführungsunterrichts in die Organische Chemie ist es hilfreich, den „**Lehrplan Chemie - Gymnasialer Bildungsgang Jahrgangsstufen 8 bis 13**“ des **Hessischen Kultusministeriums** zunächst gründlich zu studieren. Hier heißt es:

„Am Beispiel einfacher Kohlenwasserstoffe oder einfacher Alkanole werden alle erforderlichen Grundlagen zum Verständnis der organischen Chemie gelegt. Es wird die fachliche Basis für vertiefende Arbeitsweisen in der Qualifikationsphase geschaffen“.

Weiterhin besagt dieser, dass die verschiedenen funktionellen Gruppen „*ebenso eine Leitlinie des Unterrichts wie der Zusammenhang zwischen Struktur- und Stoffeigenschaft*“ sind (vgl. [20], S. 30).

Anhand dieser vom Lehrplan vorgegebenen Rahmenbedingungen kommen für den Einführungsunterricht der Organischen Chemie in der Klassenstufe 11 verschiedene Herangehensweisen in Frage. Die zwei am besten geeigneten Ansätze sollen hier nun Erwähnung finden.

6.2 Der wissenschaftsorientierte Ansatz

Der Lehrer kann einerseits die Einführung in die Organische Chemie an einer der einfachsten organischen Verbindungen, dem **Methan**, aufziehen. Eventuell ist den Schülern diese Verbindung schon einmal in vergangenen Unterrichtsstunden beim Themenkomplex „**Atombindungsverhältnisse**“ begegnet. Eingebettet ist diese Verbindung ohne Zweifel im anwendungsbezogenen Themenkomplex „**Fossile Brennstoffe und deren Bedeutung**“ und kann im Folgenden auch in ein Wahlthema wie „**Globale Umweltproblematik**“ münden. Von dieser einfachsten **Kohlenwasserstoffverbindung** ausgehend, kann der Lehrer dann im weiteren Unterricht auf die Systematik in der Organischen Chemie und auf die Nomenklatur eingehen. Durch Verlängerung und Verzweigung der Kohlenstoffketten durch weitere Methyleneinheiten (-CH₂-) erschließen sich dann den Schülern schon relativ schnell weitere Verbindungen. Mittels der vorher erlernten Nomenklaturregeln können diese dann wieder benannt werden, und so weiter. Fraglich bei dieser Methode ist natürlich, ob vom Reinstoff Methan ausgehend, welcher den Schülern ohne weiteres als solcher präsentiert werden könnte, und der aus ihm folgenden **Homologe Reihe der Alkane**, ein kognitiver Bezug der Lerngruppe zur Organischen Chemie erreicht werden kann. Problematisch wäre bei dieser Art des Einstiegs, dass der Lehrer den Schülern zu viel von Anfang an postuliert, ohne die eigenen Erfahrungen der Schüler mit einzubeziehen. Ein falsch gewählter Anfang kann sich dann daraus negativ auf den gesamten Unterricht im Stoffgebiet Organische Chemie auswirken, aufgrund fehlender positiv-affektiver Beziehung zum behandelten Themenkomplex der Alkane.

6.3 Der phänomenologische Ansatz

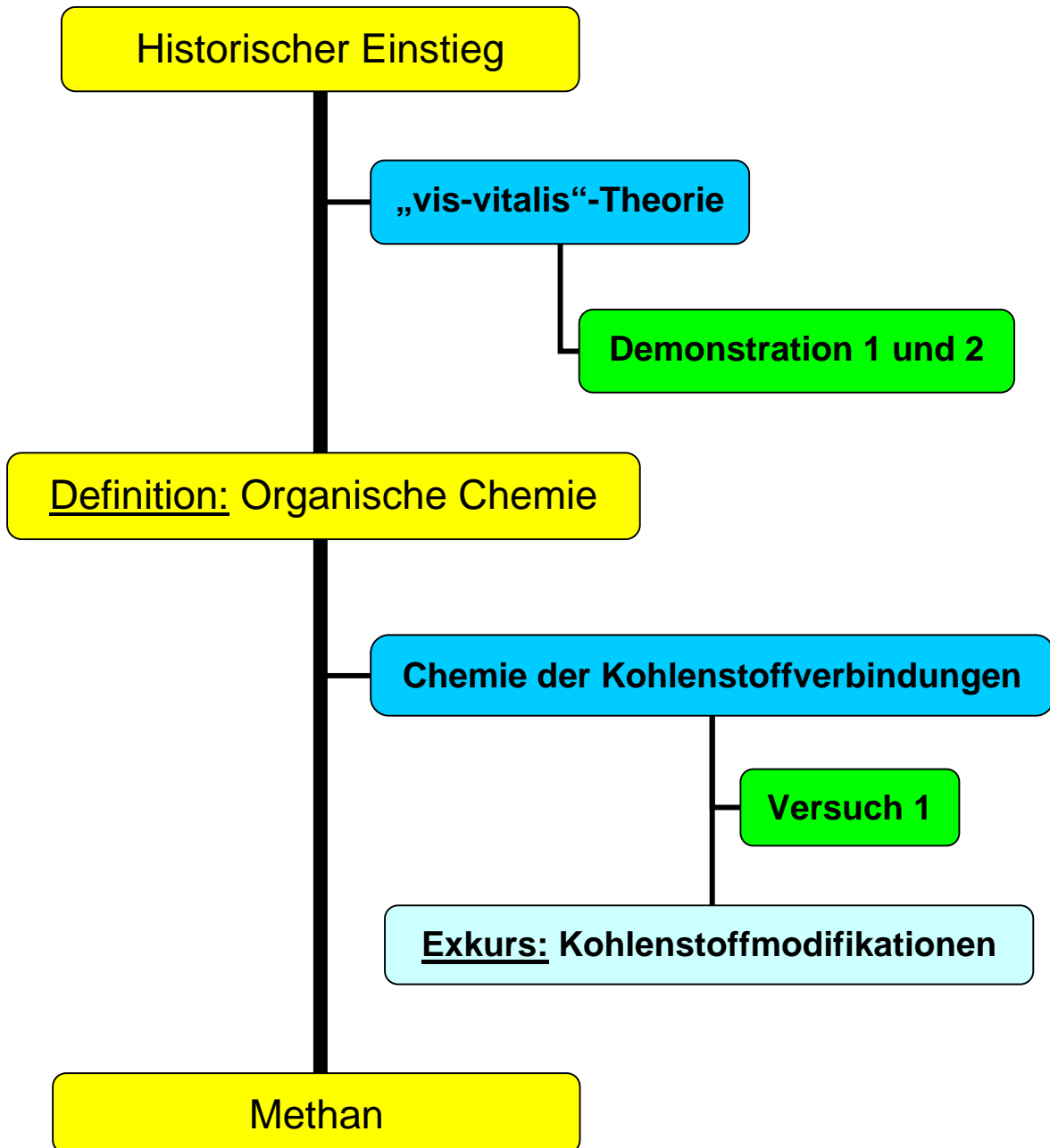
Die zweite Art und Weise, den Einstieg in die Organische Chemie zu wagen ist etwas behutsamer und kann dadurch eventuell effektiver darauf wirken das Interesse der Lerngruppe am neuen Themenkomplex zu wecken. Gerade bei der vorliegenden gemischten Lerngruppenstruktur kann dies vorteilhaft sein. Man orientiert sich, ganz im Gegenteil zu der bekannten Systematik der Organischen Chemie, welche erst im 19. Jahrhundert entwickelt wurde, an der **historischen Entwicklung** der Organischen Chemie. Ausgehend von den eigenen Erfahrungen seitens der Schüler werden zunächst einige anfangs geeignet erscheinende **Definitionen von Organischer Chemie** durch die Schüler selbst postuliert. Dadurch, dass im Verlauf des Eingangsunterrichts immer neue Gesichtspunkte hinzukommen, soll sich dann im späteren Verlauf der ersten Stunde eine wirklich brauchbare Definition von Organischer Chemie herauskristallisieren. Diese Definition wird, wie man durch den Vergleich mit der historischen Entwicklung der Begriffsbildung untermauern kann, die Definition sein, welche schon seit Jahren als die „richtige“ Definition Bestand hat. Da selbst die großen und bekannten Chemiker, wie z.B. *Berzelius*, mit der Bildung des Definitionsbegriffes von Organischer Chemie große Probleme hatten und organische Verbindungen nach heutigem Wissensstand nur unzureichend definierten, wird in den Köpfen der Schüler viel Motivation entwickelt. Diese Art der direkten Identifikation mit dem Unterrichtsstoff hilft natürlich auch dem Lehrer im späteren Unterricht. Er kann so erreichen, dass die Lerngruppe mit einer gewissen Grundmotivation ans Werk geht. Diese Methode, welche mit großem Alltagsbezug und Realitätsnähe versehen ist, holt die Schüler dort ab, wo sie stehen. Man spricht von der Methode des **Chemieunterrichts im Kontext**.

6.4 Einführung in die Organische Chemie für Blinde und Sehbehinderte

Im Folgenden soll anhand einiger konkreter **Unterrichtsentwürfe** die Problematik eines gemischten Unterrichts mit blinden und sehbehinderten Schülern bei der Einführung des Fachgebietes „Organische Chemie“ anhand der Rahmenbedingungen, welche durch den Lehrplan gegeben sind, beleuchtet werden. Die beiden oben erwähnten Ansätze werden dabei in einer didaktischen Betrachtung auf ihre **Vor- und Nachteile** untersucht. Verschiedene Aspekte zur **Methodik** findet man in diesen Abschnitten ebenfalls, sodass der Leser im Ganzen einen guten Gesamtüberblick über die Problematik der Blinden- und Sehbehindertpädagogik im Fach Chemie bekommen sollte. Der Versuch eigener Ansätze, welche im weitesten Sinn auf der Basis einer gesunden Mischung aus beiden Ansätzen fußen, soll

hierbei die Abwägung des eher **wissenschaftsorientierten Chemieunterrichts** der *Carl-Strehl*-Schule ermöglichen. Dieses Herangehen gestattet dem Autor die große Vielfalt an Möglichkeiten an einigen Stellen aufzuzeigen, welche man im Umgang mit blinden und sehbehinderten Schülern hat. Dank der Unterstützung von Herrn *Dr. Liese* konnte der Unterrichtsentwurf in der Praxis erprobt werden.

Der theoretische Hintergrund für den Lehrer ist im Verlauf der Ausführung dieser Unterrichtsentwürfe durch den Vermerk **LEHRER** gekennzeichnet. Die **Lernprozesse** und **Lernplattformen** für blinde und sehbehinderte Schüler (Hefteintrag, Computermitschrift, etc.) werden analog durch den Vermerk **SCHÜLER** eingeleitet. Jedes Experiment, das im vorgestellten Unterricht durchgeführt wird, soll von den Schülern ebenfalls per Computermitschrift oder Hefteintrag übernommen werden. Auch diese Stellen sind mit dem Vermerk **SCHÜLER** gekennzeichnet. Die einzelnen Experimente und Demonstrationen, sowie das gesamte Hilfsmaterial sind im **Anhang** der Arbeit in vollständig ausgeführter Form nachzulesen. In der praktischen Umsetzung des Unterrichtsentwurfs im Chemieunterricht der *Carl-Strehl*-Schule orientierte man sich an diesem theoretischen Unterrichtsentwurf. Unterschiede in der Durchführung werden in der didaktischen und methodischen Betrachtung der jeweiligen Stunden erwähnt und auf deren Nutzen hin geprüft.

7 Erste Stunde: Historische Entwicklung der Organischen Chemie**Der Fahrplan für die erste und zweite Stunde**

7.1 Der Unterrichtsentwurf der ersten Stunde

Zeit**SCHÜLER** „Entdeckendes Lernen“**0****Demonstration 1:** Abgrenzung des Fachgebietes „Organische Chemie“**Zeitansatz:** 20 Minuten**Versuchsdurchführung:**

Auf dem Lehrerlabortisch werden Bananen, Traubenzucker, Ethanol, ein Holzbrett, natürliches Bananenaroma, ein Stück Sedimentgestein, Natriumchlorid, Gips, Sand und eine Glasflasche in wahlloser Anordnung verteilt.

Aufgaben:

1.) Ordne die Stoffe den beiden vorgegebenen Stoffklassen

„Organische Stoffe - Lebendstoffe“ und
„Anorganische Stoffe - tote Materie“ zu.

2.) In welcher Beziehung stehen die einzelnen Komponenten innerhalb der eingeteilten Stoffklassen zueinander?

3.) Kläre im **Schüler-Schüler-Gespräch** anhand physikalischer Eigenschaften der Stoffe wie z.B. Geruch, Brennbarkeit etc., warum du dich für genau diese Einteilung entschieden hast.

Ergebnis:

- Zu den organischen Stoffen gehören **Nahrungsmittel**, sowie „lebende“ **Stoffe**, welche man in der Natur finden kann.
- Sie zeichnen sich durch einen **charakteristischen Geruch** aus.
- Organische Verbindungen sind **nur in geringem Maße wärmebeständig** und fast alle organischen Verbindungen sind **brennbar**.

LEHRER informativer Lehrervortrag**20****Die begriffliche Abgrenzung der Organischen Chemie und historischer Hintergrund**

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts waren viele anorganische, aber auch organische Verbindungen bekannt. Zur damaligen Zeit konnte man die Zusammensetzung der meist aus pflanzlichen und tierischen Bestandteilen gewonnenen Verbindungen nicht erklären. Organische Stoffe konnten nur durch geeignete chemische und physikalische Methoden direkt aus der Natur erhalten werden. Wenn eine Synthese dieser Stoffe im Labor gelang, dann mit Hilfe anderer organischer Substanzen.



Bild 7.1: Jöns Jakob Berzelius (1779 - 1848)

Aufgrund dieser Tatsachen galt die Definition der beiden schwedischen Chemiker *Bergmann* und *Berzelius*, dass die Anorganische Chemie die Chemie der toten Materie und die Organische Chemie die Chemie der organischen Lebewesen bzw. der Organismen mit „*vis vitalis*“ (der geheimnisvollen Lebenskraft) ist.

Definition von Bergmann und Berzelius (Anfang des 19. Jahrhunderts)

Anorganische Chemie → Chemie der toten Materie

Organische Chemie → Chemie der Organismen mit Lebenskraft
↳ (vis-vitalis-Theorie)

Demonstration 2: Hörspiel „*Die Neuorientierung der Chemie*“

Zeitansatz: 10 Minuten

Aufgabe: Diskutiere anhand des vorliegenden Hörspiels die im Vorfeld erarbeitete Definition von *Bergmann* und *Berzelius*.

LEHRER Information zum Hörspiel

Bis zum Jahre 1828 war diese Definition in allen Fachbüchern zu finden. In diesem Jahr gelang es jedoch dem deutschen Chemiker *Friedrich Wöhler*, einstmals ein Schüler des *Berzelius*, durch einen einfachen Versuch die Definition seines ehemaligen Lehrers zu widerlegen. In einem Brief vom **22. Februar 1828** schreibt er an *Berzelius* (vgl. **Demonstration 2 in Anhang 21.1 und die CD-Beilage am Ende der Arbeit**):

„...ich kann, so zu sagen, mein chemisches Wasser nicht halten und muss Ihnen sagen, dass ich Harnstoff machen kann, ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Tier, sey es Mensch oder Hund, nöthig zu haben.“



Bild 7.2: Friedrich Wöhler (1800 - 1882)

Harnstoff, eine bis dahin nur aus dem menschlichen und tierischen Urin bekannte **organische Verbindung**, wurde kurz zuvor von **Wöhler** durch eine Kondensationsreaktion **aus zwei anorganischen Stoffen** vollständig synthetisiert. Es gelang ihm, entgegen der allgemeinen Fachmeinung aller Chemiker, aus einer toten Materie „organisches Leben“ zu erschaffen. **Berzelius** erfreute diese Tatsache und antwortete mit einem Dankesbrief vom **7. März** desselben Jahres, indem er **Wöhler** wissen ließ:

„Nachdem man seine Unsterblichkeit beim Urin angefangen hat, ist wohl aller Grund vorhanden, die Himmelfahrt in demselben Gegenstand zu vollenden, - und wahrlich, Herr Doktor hat wirklich die Kunst erfunden, den Richtweg zu einem unsterblichen Namen zu gehen.“

Das Fundament für eine neue Theorie war gelegt. [21]

LEHRER informativer Lehrervortrag

40

Das Fundament für eine neue Theorie war gelegt. **Wöhlers** Entdeckung war zwar eindeutiger Natur, doch dauerte es 20 Jahre, bis die „**vis-vitalis-Theorie**“ durch weitere Entdeckungen gestürzt werden konnte, um sich gegenüber den alten Auffassungen durchzusetzen.

SCHÜLER Lernplattform 2 von 2

43

Wöhler synthetisiert 1828 Harnstoff aus anorganischen Ausgangsstoffen und widerlegt somit die alten Theorien seiner Fachkollegen. Es muss eine neue, präzisere Definition her.

LEHRER Ausblick auf die nächste Stunde

45

Es soll in der nächsten Stunde eine einfache organische Verbindung, das **Methan**, näher betrachtet werden. Bei dieser Betrachtung wird sich die heute gültige **Definition von Organischer Chemie** herauskristallisieren.

7.2 Didaktische und methodische Betrachtung der ersten Stunde

a) Der Einstiegsversuch

Die Wahl des geeigneten **Einstiegsversuches** kann sehr entscheidend sein. Mit dieser Wahl entscheidet sich oft, ob die Lerngruppe, mit der man als Lehrer einen neuen Themenkomplex bearbeiten will, auf diesen eingeht oder nicht. Es empfiehlt sich also einen eher greifbaren Einstieg auszuwählen, der auf die Alltagserfahrungen der Schüler basiert. Dieser sollte sich an den Grundzügen des **phänomenologischen Ansatzes** orientieren, welcher schon im vorangegangenen Teil Erwähnung fand.

Die hier vorgeschlagene Einstiegsdemonstration zur **Abgrenzung des Fachgebietes „Organische Chemie“** erfordert zunächst von den Schülern nur die Anwendung bereits bekannter Tatsachen des Alltags (vgl. **Demonstration 1 in Anhang 21.1**). Der Versuch, mit Hilfe der Demonstration einen Chemieunterricht im Kontext aufzubauen, holt die Schüler im Grunde da ab, wo sie stehen. Dieses Vorgehen wird sich im Umgang mit blinden und sehbehinderten Schülern, die im früheren Bildungsgang noch nicht so intensiv mit dem Fach Chemie in Berührung gekommen sind, als die optimale Heranführungsweise bei der Einführung neuer Themenkomplexe herausstellen. In der Durchführung eines offenen Unterrichts wird die gesamte Lerngruppe aufgefordert, zunächst anorganische Stoffe von organischen Stoffen zu unterscheiden, indem sie diese nach ihrer vermuteten Herkunft verschiedenen „**Stoffklassen**“ zuordnen. Da hier jeder Schüler der Lerngruppe gleichermaßen beteiligt ist und alle an einem Strang ziehen, wird dadurch ein großes **Zusammengehörigkeitsgefühl** erzeugt, was im folgenden Unterricht von sehr großem Nutzen sein kann. Ein Beispiel zur Einteilung dieser Stoffe kann anhand einer historisch gebildeten Einteilung geschehen. Die zur Kategorisierung ausgesuchten Stoffklassen sollten an dieser Stelle vom Lehrer vorgeben werden. So schlug etwa der schwedische Chemiker *Berzelius* im 19. Jahrhundert die Einteilung der Chemie in die beiden Hauptklassen **Chemie der Organismen** oder Dinge, die in der Natur vorkommen (Organische Chemie) und die **Chemie der „toten Materie“** (Anorganische Chemie) vor. Diese Kategorisierung dient als gute Orientierung zur Einteilung der „Stoffklassen“ in der Einstiegsdemonstration, da hier eine lange Zeit gültige Definition zu Grunde gelegt wird. An diese Klasseneinteilung kann der Lehrer dann im nachfolgenden Unterricht sofort anknüpfen, um so einige historisch entwickelte Probleme während der Definitionsbildung der Organischen Chemie

aufzuzeigen. Aufgabe der Schülergruppe ist es dann, die Dinge auf dem Labortisch in diese zwei „Stoffklassen“ zu unterteilen. Dabei leitet der Lehrer die Schüler an, nach bestimmten analogen Eigenschaften der Stoffe zu suchen. Diese Eigenschaften sollen die Schüler zum einen mit den eigenen Sinnen wahrnehmen, zum anderen aufgrund ihres Hintergrundwissens aus vergangenen Einheiten des Chemieunterrichts herleiten. Zum besseren Verständnis kann der Lehrer die Bezeichnung der zwei Kategorien in „**Organische Dinge**“ und „**Anorganische Dinge**“ abändern, ohne einerseits die alte Definition von *Bergmann* und *Berzelius* zu verletzen und andererseits diese Definition schon im Vorfeld zu verraten. Sind eigenschaftliche Gemeinsamkeiten gefunden, so werden alle Stoffe, bei denen man diese Gemeinsamkeiten entdeckt hat, derselben Gruppe zugeordnet.

Nach dieser Grobeinteilung teilt der Lehrer die Schülerschaft in zwei Gruppen ein, eine „**Organische Gruppe**“ und eine „**Anorganische Gruppe**“. Die Mitglieder der einzelnen Gruppen sollen sich nun Gedanken machen, wie man die beiden so eingeteilten Hauptgruppen nochmals unterteilen könnte. Eine mögliche **Feineinteilung** kann in **Anhang 21.1** im zugehörigen Versuchsprotokoll eingesehen werden. Die vom Autor gewählte Einteilung unterscheidet hierbei die verschiedensten Stoffe aus dem Alltag. Darunter befinden sich so genannte **Grundstoffe**, aus denen weitere, als **Bestandteile** bezeichnete Stoffe, auf physikalischem oder chemischem Weg gewonnen werden können. Den Rest der zu untersuchenden Stoffe bilden die aus den Bestandteilen der Grundstoffe hergestellten **Produkte**. Die Auswahl der eingesetzten Stoffe kann hierbei variieren. Der Autor gibt hier nur einen Beispielvorschlag, allerdings ist bei der Auswahl darauf zu achten, dass in dieser Einstiegsdemonstration nur Stoffe eingesetzt werden, die allen Schülern gut bekannt sind. In Folge dieser zweiten Phase der Feineinteilung der Stoffklassen, sollen sich die Schüler nochmals in den ihnen zugewiesenen Gruppen zusammenfinden, um sich eine Art Plädoyer für ihre gewählten Kategorisierungen zu überlegen. Die aus dieser Phase erarbeiteten Ergebnisse werden dann im weiteren Verlauf im gesamten Plenum vorgetragen und diskutiert. Die Schüler sollen in dieser Phase eine erste **alltagsgebildete Einteilung** der dargebotenen Stoffe erfahren, um im späteren Verlauf der Einführungsphase den Nutzen einer stofflichen Kategorisierung (**Stoffgruppen**) der mächtigen Anzahl an verschiedenen organischen Verbindungen zu verstehen (**vgl. auch Kapitel 12.2 Die didaktische Betrachtung der fünften Stunde**). Der hier vorgeschlagene **Hand-in-Hand-Lernprozess** der Schüler untereinander kann vom Lehrer aufgrund der laienhaften Vortragsweise der Schüler genutzt werden, um den

Sachverhalt niveaugerecht im **angeleiteten Schüler-Schüler-Gespräch** aufarbeiten zu können. In dieser Phase lassen sich zudem auch einzelne Schwierigkeiten besser aufdecken, sodass der Lehrer in den Folgestunden genau an diesen Problempunkten, wenn er sie erfolgreich zu orten weiß, erneut und ggf. wiederholend ansetzen kann. Die Wichtigkeit des Zusammenspiels von Experimenten und theoretisch deutenden Unterrichtsgesprächen betonte schon **Werner Heisenberg**, einer der bekanntesten deutschen Physiker, sehr treffend im Vorwort seiner wissenschaftlichen Abhandlung „*Der Teil und das Ganze*“ aus dem Jahre 1969 (vgl. [22] , S. 7):

„Naturwissenschaft beruht auf Experimenten, sie gelangt zu ihren Ergebnissen durch die Gespräche der in ihr Tätigen, die miteinander über die Deutung der Experimente beraten“.

Die Schülergruppe wird mit dieser hier vorgeschlagenen **phänomenologischen Demonstration** vorsichtig an die Definition der Organischen Chemie herangeführt. Mit diesem Vorgehen soll so erstmal ein Stein ins Rollen gebracht werden. Der gewählte Einstieg verdeutlicht der Schülergruppe außerdem aufgrund seines **praktischen Charakters** wichtige Aspekte über die physikalischen Eigenschaften organischer Stoffe. Der Zeitansatz für diese Einstiegsdemonstration ist zudem mit 25 Minuten großzügig genug gewählt, um die Schüler nicht von Anfang an mit einer negativen Lernstresssituation zu konfrontieren. Die erarbeiteten Ergebnisse, welche aus dieser Gruppenarbeitsphase resultieren, müssen in Ahnlehnung an der alten **vis-vitalis-Theorie** von **Bergmann** und **Berzelius** als Lernplattform am PC festgehalten werden (vgl. **Lernplattform 1 von 2 im Unterrichtsentwurf**).

Diese Phase des praktischen Unterrichtseinstiegs wurde im Chemieunterricht der *Carl-Strehl*-Schule durch ein vergleichbares **Unterrichtsgespräch** ersetzt, in welchem den Schülern zunächst die Definition des Fachgebietes Organische Chemie im Vergleich zur bekannten Anorganischen und Allgemeinen Chemie selbst überlassen blieb. Während dieser theoretischen Überlegungen leitete der Lehrer die Lerngruppe zur historisch gebildeten Definition hin. Dabei nutzten die Schüler ihre eigenen Alltagserfahrungen und das breite Schulwissen aus den vorhergegangenen Schuljahren (nicht nur das Wissen des Faches Chemie, sondern auch fächerübergreifendes Wissen des Faches Biologie). Gefahr hierbei ist natürlich, dass sich nicht alle Schüler am Unterrichtsgespräch beteiligen und manche Schüler sich über die Definitionsbildung keinerlei Gedanken machen. Der Lehrer muss dann durch

mehrmaliges Wiederholen der gefundenen (akzeptablen) Definition die Richtigkeit der erlangten Ergebnisse unter anderem auch durch konkrete greifbare Beispiele transparent genug für alle Schüler machen. Die Verwendung bekannter organischer Verbindungen wie z.B. Pflanzen, Arzneimittel, Alkohol, Aromastoffe, etc. wirkt deshalb unterstützend. Eine Lernplattform ist hierbei wieder unabdingbar (**vgl. oben erwähnte Lernplattform**).

b) Der qualifizierte Medieneinsatz

Direkt im Anschluss an dieses Gedankenexperiment sollte der Lehrer dann auf die Historie der Organischen Chemie zu sprechen kommen. Intention dieses Vorgehens ist in erster Linie den Schülern ein Gefühl davon zu geben, wie schnell sich die Organische Chemie im 19. Jahrhundert entwickelt hat. Die gewählte Methodik, mit der man diese historischen Entwicklungen in einer gemischten Lerngruppe einführt, sollte sich an den vorhandenen medialen Hilfsmitteln orientieren. Der Lehrer könnte zum einen eine Geschichte aus diversen Quellen wie Internet, Schulbuch, etc. adaptieren und diese dann in selbstständiger Vortragsweise vor der gesamten Klasse präsentieren. Auf diese Art können blinde und sehbehinderte Schüler in narrativer Form in die Welt der Organischen Chemie eingeführt werden. Der Lehrer sollte dabei die wesentlichen Probleme herausstellen, die zu Beginn des 19. Jahrhunderts die chemischen Denkweisen beeinflussten. Grundvoraussetzung dafür ist eine geübte Vortragsweise, sprich eine gute Performance an den Tag zu legen, da hier an dieser Stelle wichtige Grundsteine für den weiten Unterricht gesetzt werden müssen. Wenn man als Lehrer nicht über die nötigen Vortragskompetenzen verfügt, könnte man als Alternative **Material auf medialer Basis** über die Entstehungsgeschichte der Organischen Chemie vorführen. Für die blinden Mitschüler sollte das eingesetzte Material einen überwiegend narrativen Charakter besitzen, da sonst die Gefahr besteht, dass wesentliche Details der Entstehungsgeschichte der Organischen Chemie von den blinden Mitschülern nicht aufgenommen werden können. Des Weiteren sollte das hier eingesetzte mediale Material so ausgewählt werden, dass die Schüler nicht schon am Anfang durch die Verwendung unbekannter Fachbegriffe abgeschreckt werden. Als übliche Medien bietet sich hier natürlich **Film- und Tonmaterial** an, welches man in vielen Fällen über das Internet käuflich beziehen kann. Diese speziell für den Einsatz im Chemieunterricht konzipierten Medien sind allerdings teuer in der Beschaffung und nicht jede Schule verfügt über solche Medien. Im deutschen Fern-

sehen ist solches Material nur sehr schwer zu finden. Die Methode der Aufnahme gewünschten Fernsehmaterials auf Video oder DVD ist somit nicht oder nur sehr schwer möglich.

Im Rahmen dieser Arbeit soll nun ein in Eigenregie erstelltes **auditives Chemiehörspiel** vorgestellt werden. Da die Mittel zur Aufnahme eines Hörspiels am Fachbereich Chemie, sowie die finanziellen Mittel nur sehr begrenzt sind, hat sich der Autor dazu entschlossen, dieses kurzerhand selbst zu erstellen. Im Anhang kann das komplette Drehbuch nachgelesen werden (**vgl. Anhang 22 Drehbuch zum Hörspiel „Die Neuorientierung der Chemie“**). Eine CD, welche das komplett abgemischte Kurzhörspiel beinhaltet, liegt der Arbeit bei. Zur Hintergrund des Hörspiels sei gesagt, dass in diesem die wohlbekannte Geschichte von *Professor Jöns Jakob Berzelius* und seinem ehemaligen Schüler *Friedrich Wöhler* erzählt wird, dessen Entdeckungen zu Anfang des 19. Jahrhunderts in entscheidender Weise zur heutigen Definitionsbildung der Organischen Chemie als solche beigetragen haben. In einem **Briefwechsel** wird die Entdeckung *Wöhlers* diskutiert, in der er aus anorganischen Stoffen im Labor die organische Verbindung Harnstoff herstellt, was zur damaligen Zeit niemand für möglich hielt. Das Hörspiel ist in einer sehr amüsanten Erzählweise geschrieben, sodass die Schüler auf einfachste Art mit den Geschehnissen der damaligen Zeit konfrontiert werden. Außerdem lockert diese Art des mediengestützten Unterrichts die in den naturwissenschaftlichen Fächern oft angespannte Lernatmosphäre auf äußerst spielerische Art positiv auf. Der Einsatz des Hörspiels ermöglicht dem Lehrer zudem die Einführung der wesentlichen geschichtlichen Details der Organischen Chemie in einem Minimum an zeitlichem Aufwand und bietet ihm zugleich eine Entspannungsphase. Die auditiv empfangenen Informationen sollten in einer fortführenden Besprechung des Hörspiels gesichert werden. Die Stürzung der alten **vis-vitalis-Theorie** von *Bergmann* und *Berzelius*, welche in der ersten Unterrichtsphase als Lernplattform gesichert wurde, muss durch eine weitere Lernplattform an die Schüler weitergegeben werden (**vgl. Lernplattform 2 von 2 im Unterrichtsentwurf**).

In den restlichen Minuten der Unterrichtsstunde sollte der Lehrer einen kurzen Ausblick auf die kommende Stunde geben, in der die heute gültige Definition von Organischer Chemie am Beispiel der einfachen organischen Verbindung **Methan** hergeleitet werden soll.

8 Zweite Stunde: Die Chemie der Kohlenstoffverbindungen

8.1 Der Unterrichtsentwurf der zweiten Stunde

Zeit

SCHÜLER Wiederholungsphase

0

Zeitansatz: 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- Seit dem 19. Jahrhundert unterscheidet man in Anorganische und Organische Chemie
- 1828 Harnstoffsynthese (*Wöhler*) führt zum Umdenken in der Chemie

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch

3

Versuch 1: Die Verkohlung von Haushaltszucker

Zeitansatz: 10 Minuten

Versuchsdurchführung:

Ein Becherglas wird zu $\frac{1}{4}$ mit herkömmlichem Haushaltszucker gefüllt. Auf diesen gibt der Lehrer dann ein etwa halb so großes Volumen an konzentrierter Schwefelsäure (farblos). Die Schüler beobachten während der gesamten Reaktion die Temperatur des Reaktionsgefäßes und prüfen nachher das entstandene Reaktionsprodukt.

Ergebnis:

Der Haushaltszucker verfärbt sich von weiß über gelbbraun nach schwarz. Man beobachtet zudem eine Volumenvergrößerung bis auf das fünffache des Ausgangsvolumens. Schwefelsäure ist sehr hygroskopisch und entzieht dem Zucker (welcher zur Gruppe der **Kohlenhydrate** gehört) Wasser. Zurück bleibt eine schwarze kohle-

ähnliche Substanz. Hierbei könnte es sich um reinen Kohlenstoff handeln. Während und insbesondere nach der Reaktion riecht es ziemlich verbrannt.

SCHÜLER Lernplattform 1 von 3

13

Schwefelsäure entzieht dem Haushaltszucker Wasser, aufgrund seiner hygroskopischen Wirkung. Zurück bleibt dabei ein schwarzer kohleähnlicher Stoff. Hierbei könnte es sich um reinen Kohlenstoff handeln. Während und insbesondere nach der Reaktion riecht es ziemlich verbrannt.

LEHRER Lehrervortrag mit Demonstration von Modellstrukturen

15

Exkurs: Das Element Kohlenstoff und seine Modifikationen

Bei der Reaktion von Schwefelsäure mit Haushaltszucker bildet sich **Graphit**, eine uns wohl bekannte **Modifikation** des Kohlenstoffs. Reiner Kohlenstoff kommt auf der Erde in **drei bekannten Erscheinungsformen** vor:

1.) **Graphit**, welcher **schichtenartig** aufgebaut, sehr weich und elektrisch leitfähig ist. Jedes Kohlenstoffatom ist hier von je drei weiteren Kohlenstoffatomen, sowie koordinativ von einem weiteren Kohlenstoffatom umgeben. Die Graphitstruktur ist nicht sehr druckstabil. Die einzelnen Schichten können sich schon bei geringer äußerer Belastung gegeneinander verschieben. Diese Eigenschaft macht man sich z.B. bei Bleistiftminen zu Nutze. Des Weiteren ist Graphit der Hauptbestandteil der Heizkohle und somit brennbar.

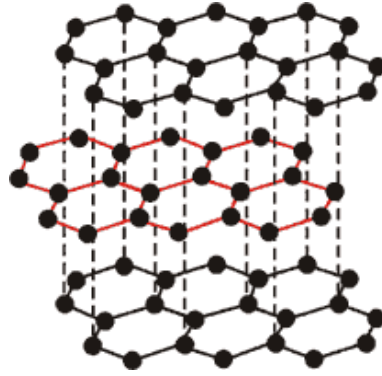


Bild 8.1: Graphitstruktur

2.) **Diamant**, welcher **tetraedrisch** aufgebaut, sehr hart und nicht elektrisch leitfähig ist. Jedes Kohlenstoffatom ist hier von je vier weiteren Kohlenstoffatomen umgeben. Man kann die Graphitstruktur des Kohlenstoffs in die Diamantstruktur überführen, indem man Druck auf das Graphitgitter ausübt. Man benötigt dazu einen Druck von 200 000 bar, bei einer Temperatur von über 3000 °C (Industriediamant) unter zusätzlichem Einsatz von Übergangsmetallkatalysatoren. Im Gegensatz zur Graphitstruktur, ist die Diamantstruktur sehr stabil gegenüber äußerem Druck. Man setzt Industriediamanten als Werkzeuge zum Schneiden und Bohren ein. Durch große Hitze (ab 800 °C) kann Diamant im Sauerstoffstrom verbrannt werden. [23]

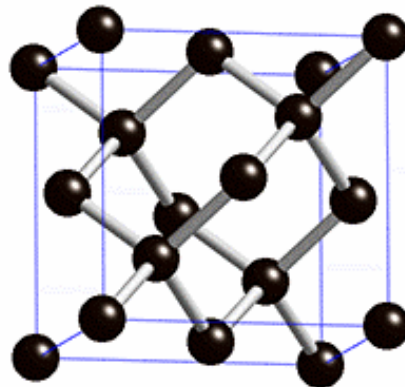


Bild 8.2: Diamantstruktur

Neben diesen **zwei polytropen Modifikationen** gibt es auch **eine allotrope Modifikation** des Kohlenstoffs:

3.) **Fullerene**, welche aus **2·n Kohlenstoffatomen** aufgebaut und ihres Aussehens wegen auch unter dem Namen Fußballmoleküle bekannt sind. Das stabilste Fulleren ist das **C₆₀-Fulleren**, das auch nach einem bekannten Architekten **Buckminster-Fulleren** genannt wird.

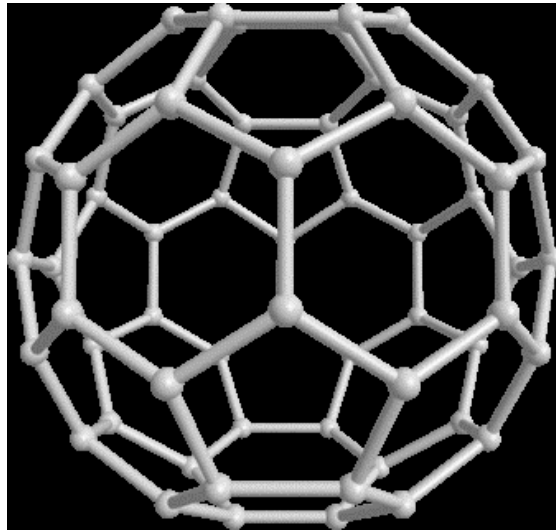


Bild 8.3: C₆₀-Fulleren (Buckminster)

Es besteht aus 20 Sechseckanordnungen und 12 Fünfeckanordnungen von Kohlenstoffatomen. In der chemischen Forschung arbeitet man derzeit an vielen Projekten, bei denen man sich die Eigenschaften dieser Kohlenstoffmodifikation zu Nutzen machen möchte. Zum Beispiel ist die Umwandlung von Fullerenen in die Diamantstruktur nicht so aufwändig, wie bei Einsatz von Graphit. Des Weiteren sind die Gebiete der Telekommunikation (**Supraleitung**) aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit von Fullerenen, sowie die Treibstofftechnik (**Ionentriebwerke**) zu nennen. In der **Medizin** forscht man derzeit mit **C₆₀-Fullerenen**, welche im Verdacht stehen, eine hemmende Wirkung auf die Vermehrung des HIV-Virus auszuüben. Allerdings soll auch genau diese Form der Modifikation eine stark krebserzeugende Wirkung besitzen. Bereits im Jahre 1985 wurden Fullerene erstmals entdeckt. Für diese Entdeckung wurden die beiden amerikanischen Chemiker **Robert F. Curl Jr.** und **Richard E. Smalley**, sowie der britische Chemiker **Sir Harold W. Kroto** im Jahre **1996** mit dem **Nobelpreis für Chemie** ausgezeichnet. [24]

Die Modifikationen des Elementes Kohlenstoff

In der Natur kommt elementarer Kohlenstoff in 3 verschiedene Modifikationen vor:

- 1.) Graphit – schichtenartig aufgebaut, elektrisch leitfähig
- 2.) Diamant – tetraedrisch aufgebaut, nicht elektrisch leitfähig
- 3.) Fullerene – aufgebaut aus 2·n Kohlenstoffatomen, „Fußballmoleküle“, elektrisch leitfähig

Alle organischen Substanzen wie z.B. Steinkohle, Benzin, Alkohole, Seifen, Aromastoffe oder auch das in der nächsten Stunde betrachtete Methan enthalten das Element Kohlenstoff. **Kohlenstoff** ist ein Element der **4. Hauptgruppe** des **Periodensystems**:

Gruppe ☛☛☛☛☛	1	2	3	4	5	6	7	8
Periode ☛☛☛☛☛	☛☛	☛☛☛	☛☛☛☛	☛☛☛	☛☛	☛☛☛	☛☛☛☛	☛☛☛☛☛
1	1 ☛☛ H ☛☛ 1 ☛☛							2 ☛☛ He ☛☛☛☛ 4 ☛☛
2	3 ☛☛☛ Li ☛☛☛☛ 7 ☛☛☛☛	4 ☛☛☛☛ Be ☛☛☛☛☛	5 ☛☛☛☛ B ☛☛☛☛☛	6 ☛☛☛☛☛ C ☛☛☛☛☛ 12 ☛☛☛☛☛☛	☛☛☛☛	8 ☛☛☛☛ O ☛☛☛☛☛	9 ☛☛☛☛ F ☛☛☛☛☛	10 ☛☛☛☛☛ Ne ☛☛☛☛☛☛☛ 20 ☛☛☛☛☛☛☛
		9 ☛☛☛☛ ☛☛☛☛☛	11 ☛☛☛☛ ☛☛☛☛☛		☛☛☛☛☛	16 ☛☛☛☛☛ ☛☛☛☛☛☛	19 ☛☛☛☛☛ ☛☛☛☛☛☛	

Bild 8.4: Schwarz-weiß-Ausschnitt aus dem Periodensystem für Sehgeschädigte

Auch in heutiger Zeit orientiert man sich an der historischen Einteilung der chemischen Verbindungen in Anorganische und Organische von *Bergmann* und *Berzelius*. Man bezeichnet die **Organische Chemie** jedoch heute als **Chemie der Kohlenstoff-Verbindungen**. Die Ausnahme bildet hier, aufgrund historisch gewachsener Zuordnung zu den anorganischen Verbindungen, die Kohlensäure und ihre Verbindungen (Salze), sowie die Kohlenstoffoxide (Kohlendioxid und -monoxid). Gegen Ende des letzten Jahrhunderts waren über 15 Millionen organische Verbindungen bekannt, die etwa 500000 anorganischen Verbindungen gegenüberstehen. (vgl. [25] **Stand: 2004**)

SCHÜLER Lernplattform 3 von 3**38****Heutige Definition der Organischen Chemie**

Organische Chemie ist die Chemie der Kohlenstoff-Verbindungen (außer Kohlensäure und deren Verbindungen, sowie Kohlenstoffoxide). Es sind über 15 Millionen organische Verbindungen bekannt.

LEHRER Lehrervortrag mit Demonstration von Methan**40**

Im weiteren Verlauf des Unterrichts in der Organischen Chemie sollen zunächst einige wichtige Eigenschaften von organischen Verbindungen am Beispiel einer sehr einfach strukturierten Verbindung kennengelernt werden.

Einführung des Methans als einfachste organische Verbindung

Methan ist als eine der einfachsten organischen Verbindungen überhaupt bei Raumtemperatur ein **farbloses** und **geruchloses Gas**. Es ist je nach Herkunft mit einem Anteil von etwa 99% Hauptbestandteil des **Erdgases**, mit dem wir durch geeignete Rahmenbedingungen auf umweltfreundliche Art unsere Häuser heizen können. Methan findet sich zusätzlich in Teichen und Sümpfen als Fäulnisprodukt wieder, wo es sich als **Sumpfgas** in stürmischen Nächten durch Blitzeinschläge zu den bekann-

ten **Irrlichtern** entzünden kann. Auch in Kläranlagen bildet der Fäulnisprozess von Klärschlamm gasförmiges Methan. Weiterhin kann man dieses Gas bei der Cellulosevergärung im Magen von Wiederkäuern, wie z.B. Kühen, nachweisen. Eine Kuh produziert täglich etwa 1 bis 2 Kubikmeter Biogas, dessen Hauptbestandteil Methan ist. Das entspricht einer Energie von fast 1 Liter Heizöl pro Tag. Eine Mischung mit anderen gasförmigen Verbindungen benutzen wir zusätzlich auch als **Brennergas**.
[26]

LEHRER **Ausblick auf die nächste Stunde**

45

In der kommenden Stunde sollen organische Verbindungen am Beispiel des Methans näher betrachtet werden.

8.2 Didaktische und methodische Betrachtung der zweiten Stunde

a) Der ritualgestützte Unterricht - Die Hausaufgabe

Die zweite Stunde wird (wie übrigens jede folgende Stunde des Unterrichtsentwurfs) mit einer **kurzen Wiederholungsphase** in einem Zeitrahmen von etwa drei Minuten eingeläutet. In dieser Phase sollte die **alte Definition der Organischen Chemie** von **Bergmann** und **Berzelius**, sowie die Entdeckung von **Wöhler** nochmals wiederholt werden, um in der folgenden Stunde vergleichend die heute gültige Definition von Organischer Chemie herzuleiten. Dieses **Ritual** ist wichtig für die Lerngruppe, um einem geregelten Stundenablauf zu folgen. Durch den Einsatz von Ritualen können sich sehbehinderte und blinde Schüler einfacher in den laufenden Stoffunterricht einfinden und bewegen sich dadurch in einem leicht skizzierten Unterrichtsrahmen. Des Weiteren erleichtert dies dem Lehrer den Einstieg in die Stunde. Im Fall der Wiederholungsphase werden die vom Autor vorgeschlagenen und zu überprüfenden Lernziele der jeweils vorhergehenden Stunde im Unterrichtsentwurf jeweils am Anfang einer jeden Stunde stichwortartig aufgelistet. Natürlich sollten sich die Schüler dazu durch Nacharbeiten der im Unterricht erstellten **Lernplattformen** auf diese Wiederholungsphase vorbereiten.

Auf die Stellung einer zusätzlichen **Hausaufgabe** wird in diesem Unterrichtsentwurf gänzlich verzichtet, da der gesamte Unterrichtsentwurf der Einführungsphase in die Organische Chemie genug zu bearbeitenden Unterrichtsstoff für die organischen Grundlagen bietet. Außerdem bietet er den Schülern an vielen Stellen des geplanten Unterrichts Wiederholungsphasen zur Festigung des Unterrichtsstoffes. Dadurch verliert eine Hausaufgabe zur Vorbereitung von Unterrichtsstoff an Notwendigkeit. Vielmals ist eine Hausaufgabe, je nach Aufgabenstellung und Moral der Lerngruppe, auch eher kontraproduktiv und schädigt das Klassenklima eher, als dass sie den Unterricht stützt. Und wenn nur eine Minderheit der Schülerschaft eine gestellte Hausaufgabe konsequent bearbeitet, wird es dem Lehrer sehr schwer fallen, den Einstieg in den Unterrichtsstoff über die gestellte Hausaufgabe zu finden.

b) Die Konstruktion einer Lernbrücke

Mit dem Einstiegsversuch dieser Stunde, der Entwässerung von Haushaltszucker durch Schwefelsäure, ist sowohl sehbehinderten als auch blinden Schülern ein guter

Einstieg in die Welt der Organischen Chemie gegeben. Die Verkohlung, die während des Versuches geschieht, ist eindeutig zu sehen und zudem noch sehr eindrucksvoll und geht recht rasch von statten. Sehbehinderte Schüler können den entstehenden Farbwechsel aufgrund der Tatsache, dass ein weißer (heller) Stoff zu einem schwarzen (dunklen) Stoff reagiert, mit Hilfe einer optimalen Beleuchtung und Einsatz eines angepassten Hintergrundes sehr gut aus nächster Nähe betrachten. Die eingesetzte Schwefelsäure ist eine starke anorganische Säure, welche den Schülern aus der Mittelstufe bekannt sein dürfte. Auch die starke Tendenz Wasser an sich zu binden sollte den Schülern aus den Vorjahren geläufig sein. Das Sprichwort „Niemals Wasser auf die Säure, sonst geschieht das Ungeheure!“ ist den Schülern hierbei ein wichtiger Hilfssatz. Der Lehrer konstruiert somit eine Lernbrücke zu bereits bekanntem Wissen der Sekundarstufe I. Das kann zum einen eine bereits gesicherte Grundlage für die Weiterarbeit sein, welche der Lehrer nicht mehr bis ins Detail besprechen muss, wie es bei der Einführung neuer Sachverhalte notwendig wäre. Zum anderen kann dies eine indirekte Wiederholung fachlicher Aspekte sein. Den blinden Schülern wird dieser Versuch auch aufgrund der Wärmeentwicklung (Vorsicht, es kann sehr heiß werden!) und des stark verkohlten Geruches in Erinnerung bleiben. Auch sie werden sofort den Kohlegeruch dem Element Kohlenstoff zuordnen können. Aussagen wie „Es riecht hier so verbrannt!“ wird der Lehrer daher von allen Schülern mit unterschiedlichstem Behinderungsgrad präsentiert bekommen. Nach dem Versuch kann den blinden (und auch den sehbehinderten) Schülern die entstandene Kohle mit einer Vergleichsprobe, welche aus dem eingesetzten Haushaltszucker besteht, in die mit Latexhandschuhen oder Küchenkrepp geschützte Hand gegeben werden. Sie werden die Festigkeit und die Beschaffenheit der entstandenen porösen Kohle gut tasten können. Sehbehinderte Schüler werden dabei die Schwarzfärbung des Küchenkrepps beobachten können. Insgesamt ein einfacher, aber dennoch sehr effektiver Versuch zur Einleitung in die Organische Chemie. Dennoch sollte vor dem Einsatz von konzentrierter Schwefelsäure vor dem Versuch nochmals gewarnt werden. Schutzbrillen sind auch hier wie bei jedem Versuch zu tragen. Der Einsatz einer mobilen Schutzscheibe zum Schutz vor eventuell unkontrollierbaren Reaktionsverläufen hat sich an der *Carl-Strehl*-Schule über Jahrzehnte bewährt. Der Versuch sollte soweit es möglich ist vom Lehrer oder in Ausnahmefällen von einem vom Lehrer geführten Schüler durchgeführt werden. Nach der Beendigung des Versuches sollte das Reaktionsgefäß für alle Schüler unzugänglich im Abzug deponiert werden. Die während des Experiments beobachteten Ergebnisse werden danach in einer ersten Lernplattform gesichert (**vgl. Lernplattform 1 von 3 im Unterrichtsentwurf**). An

dieser Stelle kann der Lehrer auch auf die Namensgebung der Kohlenhydrate eingehen, welche ja tatsächlich nach der gekürzten Strukturformel $C_x(H_2O)_x$ „gebundenes Wasser“ enthalten. Auf die Ausführung dieses Aspektes im Chemiekurs der *Carl-Strehl*-Schule sollte aus didaktischen Gründen verzichtet, da keinerlei Grundlagen bezüglich des Strukturdenkens der Organischen Chemie zu diesem frühen Zeitpunkt vorhanden waren.

c) Der qualifizierte Einsatz von Frontalunterricht

Vor der Weiterführung der eigentlichen Einführung in die Organische Chemie schiebt der Lehrer eine kleinere **Exkursphase** von etwa zehn Minuten ein, in der er anknüpfend an die Betrachtung des Kohlenstoffs auf die drei bekannten Modifikationen des Elements eingeht. Dies kann eine Wiederholung von schon bekanntem Wissen sein, da das Element Kohlenstoff schon an früherer Stelle in der Sekundarstufe I im Rahmen der anorganischen Kohlenstoff-Chemie behandelt werden kann. Jedoch ist dieses Vorgehen oft nicht der Fall, sodass der Lehrer die Modifikationen des Kohlenstoffs zu Anfang der Organischen Chemie besprechen muss. Zudem findet sich der Lehrer meist in einer Lerngruppe mit unterschiedlichsten Grundlagenvoraussetzungen wieder, sodass diese Exkursphase zum Ausgleich des Bildungsstandes unabdingbar ist. Während der Durchführung dieser Phase können **Atomstrukturmodelle** zum besseren Verständnis ausgeteilt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Modelle über eine ausreichende Transparenz verfügen, um zum einen den sehbehinderten Mitschülern der Lerngruppe die optische Unterscheidung der Modifikation und zum anderen den blinden Schülern die taktile Unterscheidung mit Hilfe der eigenen Hände zu ermöglichen. Man sollte deshalb Modelle verwenden, die groß genug sind und den zu modellierenden Sachverhalt in optisch gut zu erkennenden Farben wiedergeben. In dieser Exkursphase sollte der Lehrer zudem auch den industriellen und wissenschaftlichen Nutzen der einzelnen Modifikationen erwähnen, wie z.B. der Diamantstruktur zum Schneiden in der Industrie oder den Fullerenen in der Medizin. Es kann dabei sehr hilfreich sein, solche Beispiele, wie einen Diamantschneider im Unterricht vorzuführen und diese im Gebrauch von den Schülern testen zu lassen. Gerade die einzelnen Unterschiede in Festigkeit oder Leitfähigkeit können durch Schülerhand in einem **Lehrer-Schüler-Versuch** getestet werden, um diese Merkmale anhand greifbarer Beispiele zu festigen. Dieses Vorgehen nimmt natürlich mehr Zeit in Anspruch. Man sollte hier als Lehrer mit zusätzlichen 15 Minuten rechnen. Abschließen sollte diese Phase wieder mit einer Lernplattform, in der man

die drei Modifikationen nebst ihren Strukturmerkmalen und den physikalischen Besonderheiten wie Leitfähigkeit und Festigkeit aufführt (**vgl. Lernplattform 2 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

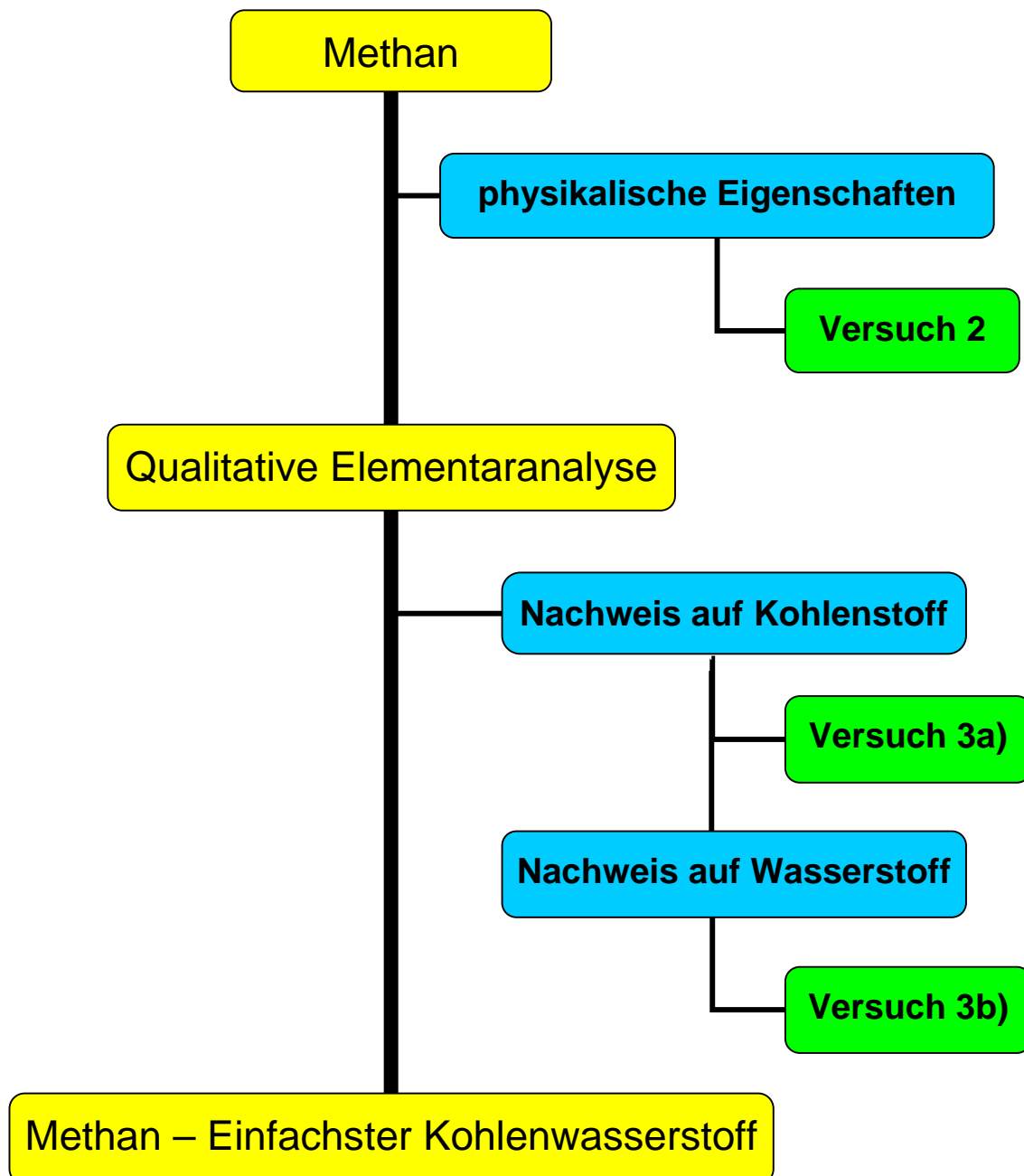
Als Alternative bietet sich an dieser Stelle der Einsatz eines weiteren Versuches an. Den Schülern ist wohl bekannt, dass Graphit als Hauptbestandteil der Heizkohle brennbar sein muss. Diamant kann bei sehr großer Hitze (ab 800°C) im Sauerstoffstrom verbrannt werden. Der Alternativ-Versuch im Anhang beschreibt eine solche Verbrennung des Diamanten im Sauerstoffstrom zu Kohlenstoffdioxid. Dieses Gas kann den Schülern aus der Sekundarstufe I bekannt sein (**vgl. Alternativ-Versuch 1 in Anhang 21.2**). Das entstandene Kohlenstoffdioxid-Gas kann dann durch Einleiten in **gesättigte Calciumhydroxid-Lösung** als weißes, festes **Calciumcarbonat** nachgewiesen werden. Die Bildung von Kohlenstoffdioxid wird an späterer Stelle bei der Verbrennung von Methan bzw. Butan im Sauerstoffstrom nochmals näher betrachtet (**vgl. Versuch 8 während der achten Stunde des Unterrichtsentwurfs**).

Ein kurzer Lehrervortrag in der Methodik des Frontalunterrichts über das Element Kohlenstoff leitet dann über in eine weitere Charakterisierungsphase des Elements Kohlenstoff. Hier sollte das Element Kohlenstoff durch Betrachtung des Periodensystems der Elemente als **Element der 4. Hauptgruppe** vorgestellt werden. Nach einigen physikalischen Fakten sollte vom Lehrer nochmals die alte in der Vorstunde diskutierte Definition von *Bergmann* und *Berzelius* angesprochen werden, um an dieser Stelle eine neue Definition der Organischen Chemie anzukündigen. Zudem sollte der Lehrer auch auf die Häufigkeit von organischen Verbindungen auf der Erde und im Labor eingehen, um anhand der enormen Anzahl die Wichtigkeit der Organischen Chemie aufzuzeigen. An dieser Stelle kann der Lehrer, sofern noch Zeit ist, einige Einsatzgebiete anreißen, speziell diese, welche ohne die Organische Chemie niemals möglich wären. Er erwähnt dabei die einzelnen Gebiete nur kurz, wie z.B. die **Arznei- und Narkosemittel in der Medizin, Petrochemische Grundstoffe und Benzin, Nylonfasern in der Bekleidungsindustrie, Pflanzenschutzmittel**, etc., um diese dann in folgenden Unterrichtsstunden näher zu beleuchten. Die Hauptaspekte dieser Charakterisierungsphase werden dann in einer zweiten Lernplattform gesichert (**vgl. Lernplattform 3 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

d) Entdeckendes Lernen auf der Basis von Hintergrundinformationen

Im Anschluss daran stellt der Lehrer in einem kurzen Vortrag **Methan** als gasförmige Verbindung vor und erläutert das **Vorkommen** in der Natur, sowie die **Verwendung** in der Industrie in der Methodik des Frontalunterrichts. Dabei sollte er auf die **Petrochemie** ebenso eingehen, wie auf das Vorkommen von natürlichen Methanquellen, bei der **Cellulosevergärung** im Magen von Wiederkäuern. Der Vorteil bei der Einführung der Organischen Chemie anhand dieser sehr einfachen chemischen Verbindung liegt in erster Linie darin, dass es sich bei Methan um ein farbloses Gas handelt. Egal wie gut man sieht oder eben nicht sieht, man kann ein farbloses Gas eben nicht durch visuelle Eindrücke erfahren. Der Einsatz von Methan im Chemieunterricht kann deshalb vor allem für blinde Schüler sehr motivierend sein, weil diese Verbindung sie nicht in ein benachteiligtes Abhängigkeitsgefüge zwischen ihnen und den sehfähigen Mitschülern drängt, wie man es oft im Zusammenhang mit anderen chemischen Experimenten beobachten kann.

Im weiteren Verlauf des Einstiegsunterrichts können so die gesamten Grundlagen am Beispiel des Methans in einem wissenschaftsorientierten Unterricht erarbeitet werden, aber dazu an späterer Stelle des Unterrichtsentwurfs mehr. Die Stunde schließt mit einem Ausblick auf genau diesen wissenschaftsorientierten Ansatz am Beispiel des Methans.

9 Dritte Stunde: Die Qualitative Elementaranalyse**Der Fahrplan für die dritte Stunde**

9.1 Der Unterrichtsentwurf der dritten Stunde

SCHÜLER Wiederholungsphase

Zeit

0

Zeitansatz: 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- **Definition:** Organische Chemie ist die Chemie der Kohlenstoffverbindungen
- **Kohlenstoff kommt in drei verschiedenen Modifikationen vor: Graphit, Diamant, Fullerene**
- **Methan:** farbloses und geruchloses Gas, Brennstoff

LEHRER informativer Lehrervortrag

3

Im Folgenden soll nun die Brennbarkeit von Methan mit Hilfe einer Verbrennungslanze, sowie weitere grundlegende physikalische Eigenschaften organischer Verbindungen am Beispiel des Methans in einem Lehrer-Schüler-Versuch demonstriert werden.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch

Versuch 2: Methan und seine physikalischen Eigenschaften

Zeitansatz: 10 Minuten

Versuchsdurchführung:

Zunächst werden die in der Einführungsdemonstration beobachteten Eigenschaften für organische Verbindungen überprüft (vgl. die **Demonstration 1 während der ersten Stunde des Unterrichtsentwurfs**).

Ergebnis:

Methan ist ein farbloses und geruchloses Gas mit sehr guter Brennbarkeit. Das Gas hat eine **geringere Dichte als Luft** und **brennt mit leicht gelblicher Flamme**. Die helle Lichterscheinung beruht darauf, dass kleinste Kohlenstoffpartikel in der Flamme bei unvollständiger (sauerstoffarmer) Verbrennung aufglühen, wie man es von glühender Kohle beim Grillen kennt. Bei Zufuhr von reinem Sauerstoff brennt Methan mit bläulicher Flamme.

Steckbrief Methan - Eigenschaften und Vorkommen:

- **farbloses und geruchloses Gas mit einer geringeren Dichte als Luft und guter Brennbarkeit (bei Sauerstoffzufuhr mit bläulicher Flamme)**

- **Vorkommen:**
 - ↳ **Erdgas und Stadtgas als Brennstoff**
 - ↳ **überall dort, wo tierische und pflanzliche Produkte unter Luftabschluss von Bakterien zersetzt werden.**

Um das Gas nun eindeutig den organischen Verbindungen zuzuordnen, ist es erforderlich, den enthaltenen Kohlenstoff in einem weiteren Versuch **qualitativ** nachzuweisen.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch**Versuch 3 a): Qualitativer Nachweis von Kohlenstoff in organischen Verbindungen am Beispiel des Methans****Zeitansatz: 5 Minuten****Leitfrage: Was haben alle organischen Verbindungen gemeinsam?****Versuchsdurchführung:**

Methan wird durch eine Verbrennungslanze geschickt und entzündet. Direkt über die Flamme hält man eine weiße Porzellanplatte.

Ergebnis:

Die Porzellanplatte wird durch die Methanflamme schwarz gefärbt. Verantwortlich dafür ist der durch die Verbrennung entstandene **elementare Kohlenstoff**.

SCHÜLER Gedankenexperiment zur Festigung**22****Zeitansatz: 3 Minuten****Leitfrage:**

Durch welchen einfachen Versuch kann man anorganische Verbindungen von organischen Verbindungen unterscheiden?

Diskutiere deine Vermutungen am Beispiel von Natriumchlorid (anorganisches Salz) und Haushaltszucker (organische Verbindung). Benutze dabei die Ergebnisse aus **Versuch 1**.

Ergebnis:

Durch Verbrennung kann man im Haushaltszucker Kohlenstoff als schwarze Verfärbung nachweisen. Natriumchlorid besitzt diese Eigenschaft nicht. Auch bei Reaktion von Natriumchlorid mit Schwefelsäure ist keine Schwarzfärbung erkennbar.

LEHRER informativer Lehrervortrag**25**

Organische Verbindungen enthalten wie schon gesehen das Element Kohlenstoff. Ist dies die einzige Gemeinsamkeit aller organischen Verbindungen?

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch**Versuch 3 b): Qualitativer Nachweis von Wasserstoff in organischen Verbindungen am Beispiel des Methans****Zeitansatz: 10 Minuten****Versuchsdurchführung:**

Methan wird durch eine Verbrennungslanze geschickt und entzündet. Die gelb leuchtende Flamme führt man für etwa 15 Sekunden in einen großen, kalten und trockenen Standzylinder ein. Nach kurzem Abkühlen des durch die Methan-Flamme erhitzten Standzylinders können die Schüler das im Standzylinder aufgefangene Produkt ertasten.

Ergebnis:

An der kalten Standzylinderwand kondensiert Wasser, welches man mit der Hand als solches identifizieren kann. Es entsteht bei der Verbrennung organischer Verbindungen, die außer Kohlenstoff auch das Element Wasserstoff enthalten.

LEHRER informativer Lehrervortrag**35**

In der Tat enthalten die einfachsten organischen Verbindungen nur die beiden Elemente **Kohlenstoff** und **Wasserstoff**. Die **einfachste Verbindung mit minimaler Molmasse**, welche nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff besteht, ist das **Methan**.

SCHÜLER Lernplattform 2 von 2**Die elementaren Eigenschaften von Methan**

Viele organische Verbindungen enthalten das Element Wasserstoff (H). Mit Hilfe einer qualitativen Verbrennungsanalyse kann dieser als Wasser nachgewiesen werden. Die einfachsten organischen Verbindungen enthalten außer Kohlenstoff und Wasserstoff keine weiteren Elemente. Ein Beispiel für solche Verbindungen ist das Methan.

LEHRER Unterrichtsgespräch**40**

Organische Verbindungen enthalten außer **Kohlenstoff** und **Wasserstoff** nur eine geringe Anzahl an vorwiegend **nichtmetallischen Elementen**, wie z.B. **Sauerstoff**, **Stickstoff**, **Halogene**, **Schwefel** oder **Phosphor**. Die **nicht sehr stabilen** organischen Verbindungen sind relativ **energiereich** und schon durch leichtes Erhitzen entstehen **energieärmere** und **stabilere Produkte**, wie z.B. **Wasser**, **Kohlenstoffdioxid** und **elementarer Kohlenstoff** (vgl. auch Versuch 4 während der vierten Stunde des Unterrichtsentwurfs).

LEHRER Ausblick auf die nächste Stunde**45**

In der nächsten Stunde soll die Stabilität von Methan in einer Knallgasreaktion überprüft werden. Zudem sollen die strukturellen Eigenschaften organischer Verbindungen näher betrachtet werden.

9.2 Didaktische und methodische Betrachtung der dritten Stunde

Nach der Einführung der Organischen Chemie während der ersten beiden Unterrichtsstunden, sollte die dritte Stunde wieder mit einer **kurzen Wiederholungsphase** eingeläutet werden. In dieser Phase werden nochmals die zur heutigen Zeit gültige Definition der **Organischen Chemie als Chemie der Kohlenstoffverbindungen**, sowie die in der vorhergehenden Stunde kurz angerissene Einleitung zur einfachsten organischen Verbindung, der Kohlenwasserstoffverbindung **Methan** genannt. Zudem sollte zum Abschluss der anorganischen Betrachtungen des Elementes Kohlenstoff aus der letzten Stunde ein Auge auf die **Modifikationen des Kohlenstoffs** geworfen werden. Es ist ratsam, die Modifikationen des Kohlenstoffs nur sehr kurz zu wiederholen, da sich diese Betrachtung eigentlich in der Sekundarstufe I bei Behandlung der 4. Hauptgruppe im anorganischen Teil der Chemie wieder finden sollte.

a) Chemie mit allen Sinnen wahrnehmen - erster Teil

Nach dieser Informationsphase beginnt der Lehrer mit einem an die Einleitung angeknüpften Versuch über Methan und seine physikalischen Eigenschaften. Hierbei sollen die Schüler Methan in erster Linie auf Geruch und Brennbarkeit untersuchen. Wenn der zeitliche Rahmen, in dem sich die Durchführung des Experiments bewegt, sehr eingeschränkt ist, kann dabei der eine Teil des olfaktorischen Tests von den blinden Schülern der gemischten Lerngruppe und der andere Teil der Brennbarkeit von den sehbehinderten Schülern nachvollzogen werden. Hierbei sollte eine gegenseitige Abhängigkeit geschaffen werden, in dem man dann wirklich nur die blinden Schüler riechen lässt, sodass in diesem Fall nun sehbehinderte Schüler von den Beobachtungen der blinden Mitschüler abhängig sind. Andererseits ist es natürlich immer besser, jeden Sinneseindruck, den die Schüler während des Experimentes erfahren können, auch wirklich jedem Schüler zu gewähren, was jedoch mehr Zeit in Anspruch nimmt. Die Verbrennung von Methan geschieht durch eine Verbrennungslanze, deren Funktionsweise der Leser im Versuchsprotokoll zu **Versuch 2** in **Anhang 21.3** nachschlagen kann. Eine Notwendigkeit des Einsatzes der Verbrennungslanze während des Versuches besteht nicht. Allerdings benötigt man die Verbrennungslanze an anderer Stelle, was die einführende Vorstellung dieses Hilfsmittels hier aus praktikablem Grund rechtfertigt. Zur besseren Beobachtbarkeit der schwach gefärbten Methan-Flamme bei Entzündung sollte an dieser Stelle die

Versuchsdurchführung auf den Großbildschirm mit Hilfe einer geeigneten Kamera projiziert werden. Das erleichtert die Verfolgung des Versuches für sehbehinderte Schüler enorm. Für blinde Schüler eignet sich hier der Einsatz des *ColorTest*TM, um die Farben der Flamme mit und ohne reinen Sauerstoff in auditiver und neutraler Form mitzubekommen. Zusätzlich kann das *Optophon*TM zur Demonstration des Leuchtens der Flamme eingesetzt werden. Der Lehrer sollte beim Aufleuchten der Methan-Flamme auf das Aufglühen der kleinen Kohlenstoff-Partikel eingehen, da das Glühen von Kohlenstoff den sehbehinderten Schülern bereits vom Grillen oder bei Einsatz eines Kamins aus dem Alltag bekannt ist.

Auch die Dichte von Methan soll in diesem Experiment überprüft werden. Hierzu eignet sich für eine gemischte Lerngruppe aus sehbehinderten und blinden Schülern der Einsatz eines farbigen (roten) Luftballons sehr gut. Dieser kann zum einen für sehbehinderte Schüler das farblose Methan indirekt durch Befüllen optisch sichtbar machen. Zum anderen kann ein prall gefüllter Luftballon dieses Gas für alle Schüler greifbar machen. Die Überprüfung der spezifischen Dichte von Methan im Vergleich zu Luft kann mit einem Luftballon auf einfachste Weise für blinde und sehbehinderte Schüler zugleich demonstriert werden. Die Schüler werden Methan durch diese einfache **Dichtebestimmung** sogleich mit einem Heliumgefüllten Luftballon vergleichen. Die Dichte von Helium sollte den Schülern durch den einfachen Mickey-Maus-Versuch (Tonfrequenzerhöhung der Stimme durch Einatmen - **Lehrer-Versuch!**) aus Sekundarstufe I bereits bekannt sein. Der Umgang mit Luftballons sollte jedem Schüler schon mal während seines Lebens, spätestens bei den eigenen Geburtstagsfeiern über den Weg gelaufen sein. Man holt die Schüler also von bekannten Standpunkten aus dem Alltag ab (**Chemie im Kontext**). Als Ergebnis des Versuches sollte festgehalten werden, dass Methan ein farb- und geruchsloses Gas von geringer Dichte ist, welches mit leicht gelblicher Flamme brennt. Im Sauerstoffstrom verbrennt Methan mit bläulicher Flamme (**vgl. Lernplattform 1 von 2 im Unterrichts-entwurf**).

b) Der wissenschaftsorientierte Unterricht in der Praxis

Das Experiment zum **Qualitativen Nachweis von Kohlenstoff** in organischen Verbindungen am Beispiel des Methans leitet eine weitere wichtige wissenschaftsorientierte Betrachtung zur Organischen Chemie ein. Dabei wird wie in **Versuch 2** die Methode der Verbrennung von Methan mit Hilfe einer **Verbrennungslanze**

eingesetzt. Der Vorteil der Verbrennungslanze liegt in erster Linie darin, dass man Methan mit großem Druck durch diese schicken kann. Aufgrund der kleinen Öffnung am Ende sammelt sich so sehr gezielt verbranntes Methan in Form von elementarem Kohlenstoff auf einem Punkt an der Porzellanplatte an. Nachteil der relativ kleinen Öffnung der Verbrennungslanze ist, dass die Schwärzung eines größeren Bereichs auf der Porzellanschale ein wenig mehr Zeit erfordert, als beispielsweise die Schwärzung durch einen Bunsenbrenner. Der Einsatz einer sauberen weißen Porzellanplatte ist hier erforderlich, sodass es den sehbehinderten Schülern möglich wird, die Schwarzfärbung zu verfolgen. Der Einsatz des **Kamera-Systems zur Großprojizierung** für sehbehinderte Schüler ist in dem Fall ebenso zu empfehlen, wie der Einsatz des *ColorTest*TM, der die Farbänderung von weiß nach schwarz in akustischer Form für blinde Schüler übersetzen kann. Wenn sich genug elementarer Kohlenstoff an der Porzellanplatte angesammelt hat, kann man diesen sogar nach dem Abkühlen von blinden Schülern zur besseren Erfahrung erfüllen lassen. So integriert und motiviert man auf einfachste Weise wieder beide Schülergruppen gleichermaßen im praktischen Teil des Unterrichts.

An dieser Stelle sei kurz erwähnt, dass im Chemieunterricht der *Carl-Strehl-Schule* die Herleitung des in allen organischen Verbindungen enthaltenen Elements Kohlenstoff nicht wie hier geschehen durch „Entdeckendes Lernen“ konstruiert wurde. Im laufenden Unterrichtsgespräch wurde diese Tatsache bereits vom Lehrer erwähnt, sodass die Schüler nur noch mit der Überprüfung dieser theoretisch postulierten Eigenschaft mit Hilfe geeigneter Versuche beschäftigt waren. Das Nennen dieser Eigenschaft im Unterrichtsgespräch kann aus zeitlichen Gründen von Vorteil sein. Man sollte den Schülern ein Entdeckendes Lernen der Materie möglich machen, da hierbei die Aspekte viel erfahrbarer werden und somit von der Lerngruppe viel intensiver und leichter verstanden werden können. Eine Lernplattform kann an dieser Stelle eingespart werden, da das Vorkommen des Elementes Kohlenstoff bereits in der zweiten Stunde gesichert wurde (**vgl. Lernplattform 3 von 3 der zweiten Stunde im Unterrichtsentwurf**).

c) Das Gedankenexperiment als gemeinschaftsbildendes Hilfsmittel

Im direkten Anschluss daran sollte ein kleines Gedankenexperiment zur Festigung und zur Überprüfung des erlangten Wissens folgen. Die Schüler sollen in Stillarbeit, etwa in Zweiergruppen, zunächst diskutieren, durch welchen einfachen Versuch man

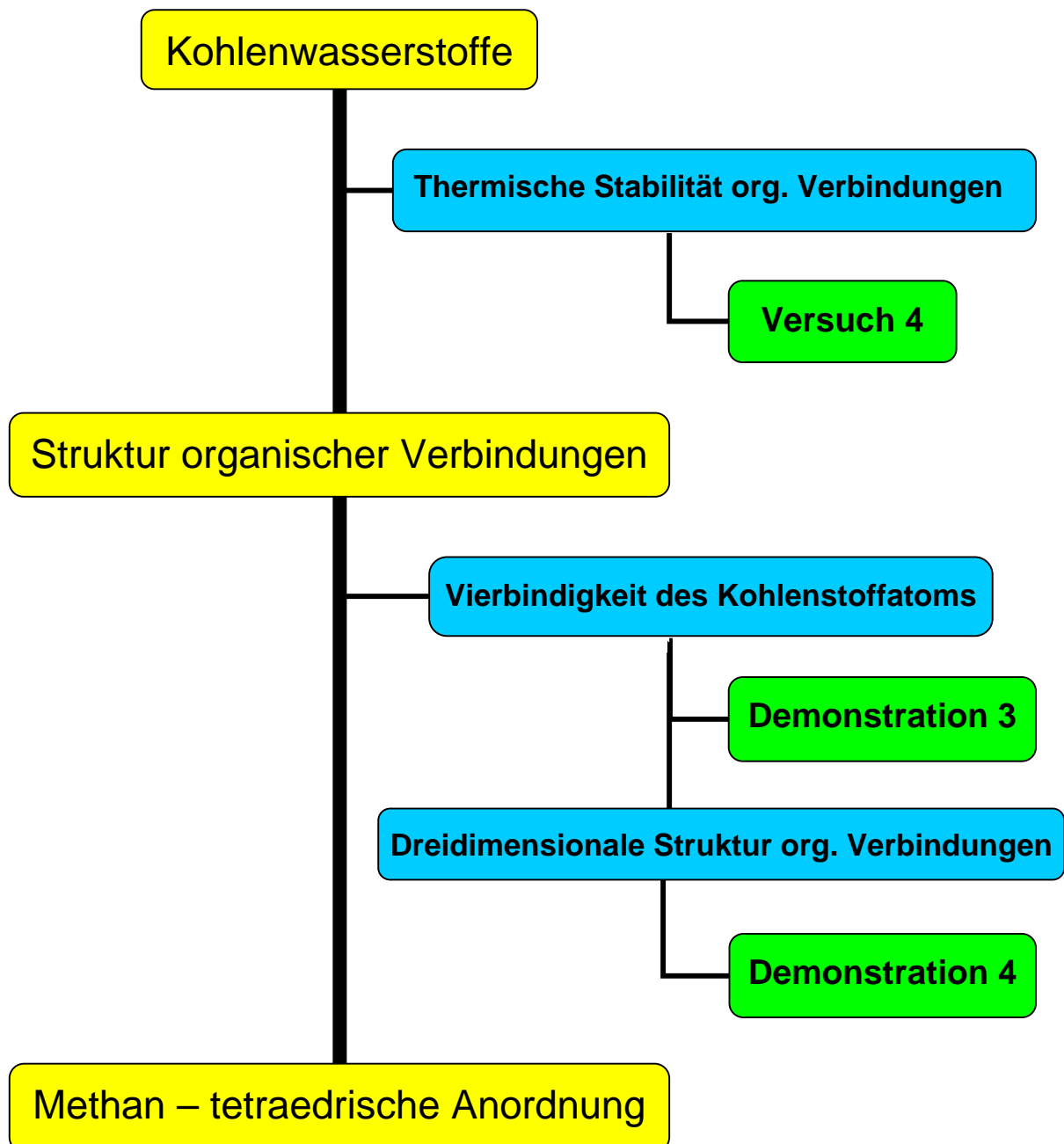
allgemein anorganische von organischen Verbindungen unterscheiden könnte. Als Beispiele anorganischer und organischer Verbindungen kann der Lehrer zwei optisch fast identische Stoffe, wie z.B. **Natriumchlorid** und **Haushaltszucker** vorgeben. Die Schüler können diese zunächst ohne die ihnen zur Verfügung stehenden Mittel der eigenen Sinneswahrnehmungen nicht voneinander unterscheiden (Die Sinneswahrnehmung des Schmeckens sollte in Laboreinrichtungen wie dem Chemieraum im Vorfeld schon strengstens untersagt werden!). In einer offenen Diskussionsrunde sollen die Schüler dann einige Lösungsstrategien zur Identifikation dieser Stoffe entwickeln. In Adaptation zu den vorhergehenden **Versuchen 2 und 3 a)** werden sich die Schüler schnell auf die Überprüfung der Brennbarkeit beider Substanzen und der äußeren Erscheinungsform ihrer Verbrennungsprodukte verständigen, was sich zu diesem frühen Zeitpunkt als die beste Option herausstellt. Durch die Verbrennung von Haushaltszucker kann dieser als organische Verbindung, analog der **Verbrennung von Methan** in **Versuch 2**, durch den entstehenden elementaren Kohlenstoff nachgewiesen werden. Den Schülern wird hierdurch wiederholend die Tatsache unterstrichen, dass alle organischen Verbindungen das Element Kohlenstoff in irgendeiner Form beinhalten müssen. Eine ähnliche Beobachtung bei der Verbrennung von Kochsalz kann von den Schülern nicht festgestellt werden. Auch das Einwirken von Schwefelsäure auf Natriumchlorid zeigt den anorganischen Charakter des Salzes auf, da hier kein Entwässerungsvorgang zu beobachten ist. Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass auch anorganische Verbindungen entwässert werden können und diese Methode deshalb als Unterscheidungsmerkmal zwischen organischen und anorganischen Stoffen einfach nicht ausreicht. Man verweist dann auf die kommenden (qualitativen und quantitativen) Analysemethoden in der Organischen Chemie.

d) Chemie mit allen Sinnen wahrnehmen - zweiter Teil

Zur Fortführung des Unterrichts ist es nun von Bedeutung, den zweiten wichtigen **qualitativen Nachweis von Wasserstoff** in organischen Verbindungen am Beispiel des Methans durchzuführen. Das schon aus den vorhergehenden Versuchen bekannte Methan wird hier wieder wie üblich mittels einer Verbrennungslanze entzündet. Über die heftig brennende Methan-Flamme wird ein großer, kalter und trockener Standzylinder gestülpt. Hierbei kann ein Schüler den Standzylinder (eventuell mit Wärmeschutzhandschuhen oder Ähnlichem) halten. Nach dem Abkühlen können so viel Schüler wie möglich, am besten alle blinden, aber auch alle sehbehinderte Mitschüler

je nach Gruppengröße das kondensierte Wasser an der Standzylinderwand ertasten, indem sie mit der ganzen Hand in diesen hinein fassen. Deshalb sollte der Zylinder groß genug gewählt werden, um eine gut spürbare Erfahrung des Produkts gewährleisten zu können. Die entstandenen Wassertröpfchen können zusätzlich für die sehbehinderten Schüler, die das Wasser vielleicht aus Zeitgründen zudem nicht ertasten können, über die Kameravorrichtung auf einen Großbildschirm projiziert werden. Diese Erfahrung einer entstehenden Flüssigkeit wird den Schülern im Gedächtnis bleiben. Sie sehen sich sofort veranlasst, aufgrund dieser „nassen“ Erfahrung eine **gedankliche Brücke** zur Verbindung Wasser zu schlagen. Man kann sich als Lehrer auf diese einfachste Art des Wasserstoff-Nachweises durch Ertasten der kondensierten Wassertröpfchen beschränken, ohne dabei Gefahr zu laufen, die wesentlichen Details dieses Experimentes aufgrund der Einfachheit der Durchführung zu unterschlagen. Außerdem ist vielen Schülern der **Wassernachweis**, mit Hilfe **wasserfreiem**, weißem **Kupfersulfat**, welches sich unter Eintritt von Wasser blau verfärbt (**Kupfer(II)-sulfat-pentahydrat**), nicht bekannt. Auch der Nachweis über **Cobalt(II)-chlorid-Papier** ist vielen Schülern nicht geläufig. Die Schüler können meist mit den ihnen unbekanntem Nachweisreagenzien an sich schon nichts anfangen, was eine Einführung der Stoffe im laufenden organischen Unterricht notwendig machen würde. Das kann sehr lange aufhalten und würde viel Zeit im Vorankommen des wichtigeren organischen Grundlagenstoffs kosten. Wenn jedoch die Nachweisreagenzien und der Wassernachweis aus der Sekundarstufe I bekannt sind, kann der oben beschriebene Wasserstoffnachweis als Alternativ-Versuch gewählt werden. Egal für welche Option sich der Lehrer entscheidet, er muss den Schülern im Anschluss die Möglichkeit einer Sicherungsphase gewähren, um die beobachteten Ergebnisse in einer Lernplattform am PC niederzuschreiben. Diese Lernplattform sollte zur besseren Übersicht analog der Lernplattform über den qualitativen Kohlenstoff-Nachweis in organischen Verbindungen strukturiert sein (**vgl. Lernplattform 1 von 2 im Unterrichtsentwurf**). Danach sollte der Lehrer den eigentlichen Grund dafür nennen, dass sich organische Verbindungen bei Verbrennung zersetzen bzw. sich sehr leicht oxidieren lassen. Aus vorwiegend **unpolaren, nicht sehr stabilen** organischen Verbindungen entstehen bei Erhitzen viel **stabilere** (meist polare) Verbindungen, wie z.B. elementarer Kohlenstoff und Wasser. Diese Produkte haben die Schüler in den beiden Versuchen zur qualitativen Analyse organischer Verbindungen bereits kennen gelernt (**vgl. Versuche 3 a) und 3 b) in Anhang 21.3**). Dieses Ergebnis sollte der Lehrer mit einer weiteren geeigneten Lernplattform sichern (**vgl. Lernplattform 2 von 2 im Unterrichtsentwurf**).

In einem weiteren informativen Lehrervortrag berichtet der Lehrer kurz über die wichtigsten elementaren Bestandteile organischer Verbindungen und verweist auf den kommenden **Versuch 4 „Eine andere Knallgasreaktion“** am Anfang der nächsten Stunde. Daneben sollen die strukturellen Eigenschaften organischer Verbindungen näher betrachtet werden.

10 Vierte Stunde: Knallgasreaktion und strukturelle Betrachtungen**Der Fahrplan für die vierte Stunde**

10.1 Der Unterrichtsentwurf der sechsten Stunde

SCHÜLER Wiederholungsphase

Zeit

0

Zeitansatz: 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- **Einfachste organische Verbindungen: Kohlenwasserstoffe**
- **Eigenschaften organischer Verbindungen am Beispiel Methan**

LEHRER informativer Lehrervortrag

3

Im Folgenden soll das Methan nochmals näher betrachtet werden. Auch in Steinkohlebergwerken entstehen große Mengen von Methan, sodass es in den Gruben zur Bildung eines explosiven Knallgasgemischs von Methan und Luft kommen kann. Dieses Phänomen wird auch oft mit dem Begriff „**Schlagende Wetter**“ bezeichnet. So ließen allein in Deutschland über 2000 Bergleute aufgrund von schlagenden Wettern ihr Leben. Das große Unglück im Jahre 1988 in der **Schachtanlage Stolzenbach in Borken** (Hessen) ist das jüngste Beispiel dafür. Grubenunfälle führten meist zur vollständigen Einstellung des gesamten Braunkohlebergbaus in diesen Anlagen. Verursacht wurden die Explosionen innerhalb eines Bergwerks oft durch offenes Feuer, meist das von Grubenlampen in offener, ungesicherter Ausführung. Selbst die Betätigung eines Schalters und der dadurch entstehende elektrische Funken kann schon eine solche Methan-Sauerstoff-Explosion auslösen.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch**5****Versuch 4: Eine andere Knallgasreaktion am Beispiel des Methans****Zeitansatz: 5 Minuten****Versuchsdurchführung:**

Der Lehrer beschickt mit Hilfe der Schüler eine 1000mL Papphülse (**Explosionskammer**) mit 100 mL Methan und schüttelt diese nach Verschließen sorgfältig. Die Explosionskammer wird in großem Abstand von der Lerngruppe gesichert platziert. Dann wird das explosive Methan-Luft-Gemisch in der Hülse von sicherer Entfernung gezündet.

Ergebnis:

Methan und Luft reagieren bei ihrer Vermischung gar nicht miteinander. Beide Reaktionspartner bilden allerdings, ähnlich wie Wasserstoff- und Sauerstoffgas, explosive Methan-Luft-Gemische. Hierbei muss die benötigte Aktivierungsenergie zunächst erstmal aufgebracht werden, damit das **reaktionsträge** Gemisch miteinander reagiert. Das geschieht durch einfaches Entzünden bei einer **Explosionsgrenze von 5 bis 15 Volumenprozent Methan**.

LEHRER Unterrichtsgespräch**10**

Eines der größten Bergwerkunglücke in Deutschland, welches durch Schlagende Wetter verursacht wurde, ist auf den 21. Oktober 1930 datiert. Hier verloren 271 Bergleute der **Grube Anna des Eschweiler-Bergwerk-Vereins in Alsdorf** durch eine große Explosion ihr Leben. Der Grund für die Explosion war vermutlich ein Fehlverhalten eines Kumpels, der sich in der Pause eine Zigarette anzündete, was dazu führte, dass das reaktionsträge Methan-Luft-Gemisch zur Reaktion gebracht wurde.



Bild 10.1: Grube Anna nach dem schweren Unglück vom 21. Oktober 1930

Die Reaktionsträgheit eines Methan-Luft-Gemisches bei Raumtemperatur steht in engem Zusammenhang mit der **Reaktionsträgheit** der **C-H-Bindungen** des Methan-Moleküls. Diese sind symmetrisch um den positiven Atomrumpf angeordnet. Die entstehenden Dipolmomente, bedingt durch die Elektronegativitätsdifferenzen zwischen Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen ($EN_{\text{Kohlenstoff}} = 2,5$ und $EN_{\text{Wasserstoff}} = 2,1$), heben sich aufgrund der günstigen Anordnung innerhalb des Moleküls gegenseitig auf. Das Methan-Molekül ist somit nach außen elektrisch neutral. Man spricht von einem, im Gegensatz zum polaren Wassermolekül (**Dipol**), **unpolaren Molekül**. Dieser Aspekt wird an späterer Stelle näher betrachtet (**vgl. Kapitel 13.1 Der Unterrichtsentswurf der sechsten Stunde**).

Im Vergleich zu dieser eher ungewollten Explosion im Bergwerk kann man sich auch gewollte Explosionen geeigneter Stoffgemische zunutze machen. Durch die sogenannte „**kontrollierte Explosion**“ im Motor von Fahrzeugen ist es möglich Energie zu erzeugen, um damit Fahrzeuge anzutreiben. Diese Art der Energieerzeugung wurde 1862 von dem deutschen Maschinenbauer *Nikolaus August Otto* für die damals führenden Autohersteller *Daimler* und *Benz* patentiert und als *Ottomotor* auf den Markt gebracht.



Bild 10.2: Nikolaus August Otto (1832 - 1891)

Bei diesem Vorgang wird ein Alkan-Luft-Gemisch, welches sich ähnlich wie das Methan-Luft-Gemisch aus **Versuch 4** verhält, bei geeignetem Druck zur Zündung gebracht. Auch in erdgasbetriebenen Verkehrsmitteln, wie z.B. in vielen Bussen Marburgs, wird diese Tatsache umweltbewusst genutzt.

Steckbrief Methan - weitere physikalische Eigenschaften

Organische Verbindungen sind nicht sehr stabil und können schon durch leichtes Erhitzen in energieärmere und somit stabilere Produkte, wie z.B. Wasser, Kohlenstoffdioxid und elementaren Kohlenstoff überführt werden. Methan-Luft-Gemische können demnach explosiv sein.

SCHÜLER „Entdeckendes Lernen“**22****Demonstration 3: Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms****Zeitansatz: 10 Minuten****Leifrage: Warum existiert bei so einer geringen Anzahl von Elementen eine so große Anzahl an organischen Verbindungen?****Aufgabe: Finde die Ursache dafür, dass eine so große Anzahl organischer Verbindungen bekannt ist.****Hilfsmittel:**

- Periodensystem
- CVKTM-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)
- zweidimensionales Molekülbaukasten-System (vgl. Kapitel 5.1 Ein Molekülmodell für blinde und sehbehinderte Schüler)

Durchführung:

Mit Hilfe des Molekülbaukastens und des Periodensystems soll die **Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms** hergeleitet werden.

Ergebnis:

Die Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms lässt einen hohen Grad an Regelmäßigkeit und dadurch entstehender Stabilität zu. Jedes Kohlenstoffatom besitzt vier Valenzelektronen. Die Molekülstruktur wird demnach durch die **Ausbildung von kovalenten Elektronenpaarbindungen** erklärt.

LEHRER Unterrichtsgespräch mit Modellvorführung**32**

Wie wir gesehen haben, besitzt jedes Kohlenstoffatom vier Valenzelektronen. Die Molekülstruktur wird demnach durch die Ausbildung von **kovalenten Elektronen-**

paarbindungen (Atombindungen) erklärt. Kohlenstoffatome besitzen dabei eine **tetraedrische Elektronendichteverteilung**, was sich auch in der räumlichen Anordnung organischer Verbindungen widerspiegelt.

SCHÜLER „Entdeckendes Lernen“

Demonstration 4: Strukturelle Eigenschaften organischer Verbindungen

Zeitansatz: 10 Minuten

Aufgabe: Finde heraus wie organische Verbindungen **dreidimensional** strukturiert sein könnten.

Hilfsmittel:

- verschiedene geometrische Modelle wie z.B. Quader, Pyramiden und andere den Schülern bekannte flächige Strukturen
- Tetraedermodell
- CVKTM-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)

Durchführung:

Anhand bekannter **flächiger Strukturen** wie z.B. Quader, Pyramiden, usw., soll die **Struktur des Tetraeders** gefestigt werden.

Ergebnis:

Die Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms und die dadurch **tetraedrisch angeordneten Einfachbindungen** lassen einen hohen Grad an Regelmäßigkeit und dadurch entstehender Stabilität zu.

SCHÜLER Lernplattform 2 von 2**42****Strukturelle Eigenschaft von organischen Verbindungen:**

Die Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms lässt einen hohen Grad an Regelmäßigkeit zu. Dabei ordnen sich die Außenelektronen tetraedrisch um das Kohlenstoffatom an. Es kommt dabei zur Ausbildung von kovalenten Elektronenpaarbindungen (Atombindungen).

LEHRER Ausblick auf die nächste Stunde**45**

Um mit der großen Anzahl an organischen Verbindungen arbeiten zu können, bedarf es einer Art Kategorisierung. Dabei werden alle Verbindungen mit ähnlichen Eigenschaften in Gruppen zusammengefasst.

10.2 Didaktische und methodische Betrachtung der vierten Stunde

Die einleitende Wiederholungsphase soll der gemischten Lerngruppe nochmals ins Gedächtnis rufen, dass die einfachsten organischen Verbindungen, die **Kohlenwasserstoffe**, nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Des Weiteren sollte auf die Eigenschaften organischer Verbindungen am Beispiel des Methans eingegangen werden.

a) Sicherheitsbelehrung mal anders

Danach sollte der Lehrer auf die Gefahren im Umgang mit Methan eingehen. Hier sind vor allem die schweren Grubenunglücke zu nennen, welche durch die Bildung eines explosiven Knallgasgemisches von Methan und Luftsauerstoff entstehen. Das Phänomen der „**Schlagenden Wetter**“ ist an dieser Stelle sehr bezeichnend für die Gefahr, mit der man z.B. auch an Tankstellen rechnen muss. Der erste Versuch in dieser Stunde demonstriert den Schülern dann ein solches Knallgasgemisch (**vgl. Versuch 4 im Unterrichtsentwurf**). Man sollte sich als Lehrer bei diesem Experiment genau überlegen, in welcher Örtlichkeit man dieses durchführen möchte. Wenn der Versuch im Chemieraum durchgeführt wird, sollten sich die Schüler, nachdem sie alle den Aufbau inspiziert haben, in ausreichendem Abstand zum Versuchsgeschehen aufhalten. Auch Gegenstände, welche sich in unmittelbarer Nähe befinden, müssen vom Lehrer ausreichend vor der Explosion gesichert werden. Die beeindruckende Versuchsbeobachtung in Form der besagten Explosion ist für alle Mitglieder der Lerngruppe gleichermaßen erfahrbar. Für die Schüler der gemischten Lerngruppe sollte diese auf jeden Fall vorher angekündigt werden, da sie u.U. (verstärkt durch ihre Sehbehinderung) nicht mitbekommen, wann die Zündung durch den Lehrer stattfindet. Auch sollte darauf hingewiesen werden, dass alle Beteiligten während der Zündung durch Öffnen des Mundes den Innendruck der Ohren entlasten. Dadurch wird verhindert, dass das Trommelfell bei Auftreffen der starken Schallwellen geschädigt oder gar zerstört wird.

Ein Alternativ-Versuch ist die Entzündung eines **Methan-Sauerstoff-Gemischs, eingefangen in Seifenblasen** mittels eines Holzspans. Hierbei wird zunächst mit Hilfe eines Kolbenprobers ein Methan-Sauerstoff-Gemisch im Verhältnis 1:2 gemischt und in eine größere Einwegspritze gefüllt. Dieses wird dann über eine aufgesetzte Kanüle in eine konzentrierte Seifenlösung eingeleitet, welche sich in

einer Porzellanschale oder einer kleineren Plastikwanne befindet. Wenn sich durch dieses Vorgehen genügend Seifenblasen auf der Lösungsoberfläche gebildet haben, werden diese über einen langen glühenden Holzspan oder über ein Stabfeuerzeug gezündet. Dieser Versuch kann auch im Klassenraum bei entsprechender Sicherung durch mobile Schutzscheiben für Schüler und Lehrer auf dem Experimentiertisch des Lehrers durchgeführt werden. Die entstehenden Seifenblasen können über das Kamera-System mit Großbildschirmübertragung für sehbehinderte Schüler verfolgt werden. Man sollte die Kamera dabei in ausreichendem Abstand zur Explosion platzieren, da diese durch die Heftigkeit der Explosion zerstört werden kann. Nach der Durchführung eines der beiden Versuchsvorschläge kann der Lehrer dann auf spezielle Beispiele bekannter **Grubenunglücke** eingehen. Das hier gewählte Beispiel vom großen Bergwerkunglück in Eschweiler im Jahre 1930 unterstreicht die Schwere der Zerstörung, die eine solche Explosion verursachen kann. Durch den Einsatz von Bildern der Explosionsauswirkung erreicht der Lehrer dann bei sehbehinderten Schülern eine Verstärkung seiner sicherheitsorientierten Intuition.

Auffallend ist bei Betrachtung der ersten Unterrichtsstunden, dass sich die beiden im Vorwort erwähnten Ansätze des **phänomenologischen Ansatzes** auf der einen und des **wissenschaftsorientierten Ansatzes** auf der anderen Seite nicht ausschließen müssen. Die **Versuche 2**, sowie **3a) und b)** unterstützen den Unterricht in **wissenschaftsorientierter** Weise, in dem die Schüler zunächst physikalische Eigenschaften organischer Verbindungen am Beispiel des Methans kennenlernen und später diese Verbindung als Kohlenwasserstoffverbindung charakterisieren. Die **Versuche 1 und 4** unterstützen den Unterricht hingegen auf einem eher **phänomenologischen** Weg, in dem die Verkohlung organischer Substanzen und die Gefährlichkeit von Knallgasgemischen, welche den Schülern im Übrigen schon in Sekundarstufe I auf der Basis des **Wasserstoff/Sauerstoff-Knallgasgemischs** bekannt sein sollten, aufgezeigt werden.

Im Anschluss dieser Informationsphase über die Gefährlichkeit von Methan-Sauerstoff-Gemischen sollte kurz auf die **Reaktionsträgheit der C-H-Bindungen** im Methan-Molekül eingegangen werden, da diese für die gute (und eigentlich ungefährliche) Handhabbarkeit des Knallgasgemischs verantwortlich sind. Dieser Aspekt wird zu späterer Stelle bei der Besprechung der großen Vielfalt organischer Verbindungen nochmals aufgegriffen, da er diese Tatsache mitbegründet. Außerdem findet er sich bei der Besprechung der **Unpolarität von Kohlenwasserstoffen** wieder. Der Lehrer

leitet nach der Warnung vor der sich bildenden Gefahr im Umgang mit Knallgasgemischen einen weiteren Aspekt des Nutzens von Alkan-Luft-Knallgasgemischen in der Automobiltechnologie ein. Hierbei kann er den Weg über den *Ottomotor* als gebräuchlichen Antrieb eines üblichen PKW nehmen. Dabei sollte die Definition der „**kontrollierten Explosion**“ Hilfe leisten. Durch die Erwähnung des *Ottomotors*, welcher **1862** (nur etwa 30 Jahre nach *Wöhlers* Entdeckungen bezüglich der Definition von Organischer Chemie) erstmals von *Nikolaus August Otto* patentiert wurde, kann der Lehrer den Schülern zudem anhand eines bekannten und dadurch gut greifbaren Beispiels die schnelle Entwicklung in der Organischen Chemie näher bringen. Die Nennungen von alltagsbezogenen Beispielen zur Gefährlichkeit und zum Nutzen von Knallgasgemischen mit organischer Beteiligung macht das Thema Organische Chemie durch die Verwendung von Chemie im Kontext noch greifbarer. Zu Abschluss dieser Phase sollte wieder eine Lernplattform für die Schüler am PC erstellt werden. Die Lernplattform kann dieses Mal in Steckbriefform geschrieben werden, in der physikalische Eigenschaften, Vorkommen und die Beteiligung der Alkane an Explosivgemischen am Beispiel des Methans aufgeführt sind (**vgl. Lernplattform 1 von 2 im Unterrichtsentwurf**).

b) Einführung organischer Molekülmodelle

Sehr wichtig für den kommenden Unterrichtsstoff ist die Eigenschaft der **Vierbindigkeit des Elementes Kohlenstoff**, welche bei der strukturellen Zusammensetzung von organischen Verbindungen eine sehr große Rolle spielt. Diese Tatsache stellt vor allen Dingen für blinde Schüler, aber auch für sehbehinderte Schüler einen recht bedeutenden Anhaltspunkt zur Struktur organischer Moleküle dar, da sie oft Schwierigkeiten mit dem dreidimensionalen Strukturdenken der Organischen Chemie haben. Deshalb empfiehlt es sich hier als Lehrer zunächst ein zweidimensionales Denken von der gemischten Lerngruppe zu fordern. Dadurch ist es ihm möglich, die Lerngruppe sehr behutsam an diesen wichtigen Komplex der Strukturiertheit in der Organischen Chemie heranzuführen, sodass dieser im Laufe der Stunde, aufbauend auf die einleitende Phase, vertieft und langsam abstrahiert werden kann. Der Aspekt der **Isomerie** soll zur Erklärung der Vielzahl bekannter organischer Verbindungen zunächst außer Acht gelassen werden, da er an gegebener Stelle detailliert diskutiert wird (**vgl. Kapitel 19 und 20**).

Der Lehrer kann zur näheren Betrachtung organischer Moleküle im ersten Teil der Stunde das besondere Strukturdenken in der Organischen Chemie durch eine **Stillarbeitsphase** einleiten. Es sei zwischendurch erwähnt, dass der Lehrer bei jeder Stillarbeitsphase gegenüber jeder einzelnen Gruppe, welche sich hierbei unweigerlich bildet, eine Art **Beraterfunktion** ausüben sollte. Dabei wandert er während der Durchführung von Gruppe zu Gruppe, um diese durch einige Hilfestellungen im Umgang mit den ausgeteilten Materialien zielorientiert anzuleiten. Das ist besonders bei gemischten Lerngruppen aus sehbehinderten und blinden Schülern sehr wichtig, um allen Schülern, egal wie hoch der Grad ihrer Behinderung auch ist, die gleichen Beobachtungen zu ermöglichen, damit diese die zu bearbeitenden Aufgabenstellungen ausreichend diskutieren können. Die Schüler sollen sich einzeln oder in Zweiergruppen mit den Molekülbaukasten-Systemen vertraut machen und herausfinden, welche Eigenschaft dafür verantwortlich ist, dass in der Organischen Chemie eine so große Anzahl an Verbindungen bekannt ist. Diese **Leitfrage** wird der Lerngruppe durch mehrmaliges Wiederholen seitens des Lehrers immer wieder aus dem laufenden Unterricht hervorgehoben, sodass jeder Schüler das Ziel immer konkret im Hinterkopf haben sollte. Die allgemeine Zielsetzung einer Leitfrage ist es, den Schülern eine Art Rahmen an die Hand zu geben, um den eigentlichen Aspekt, welchen es in dieser Stunde zu bearbeiten gilt, durch gezielt anvisierte Grundlagenergebnisse zu umschreiben und seine Wichtigkeit zu unterstreichen. Dieser von den Schülern eigens geknüpft **rote Faden** erstreckt sich aufgrund verschiedenster Aspekte, die es im Zusammenhang mit der Vielfalt organischer Verbindungen zu betrachten gilt, über die gesamte vierte Stunde. Im Laufe der Stunde sollte man als Lehrer deshalb immer wieder auf diesen roten Faden verweisen, um den Schülern die Anknüpfung an bereits erlangte Ergebnisse zu ermöglichen und somit neue Beobachtungen während der praktischen Phasen leichter auswerten zu können.

In diesem konkreten Beispiel werden die Schüler in die Arbeit mit **Molekülbaukasten-Systemen** eingeführt, welche speziell für den Einsatz im Fachgebiet Organische Chemie entwickelt wurden. Je nachdem wie es mit der finanziellen Situation der Schule aussieht (es gibt z.B. Unterschiede im finanziellen Background staatlicher und privater Schulen), sind im Laufe der Zeit unterschiedliche Baukastensysteme für den Chemieunterricht an der Schule angeschafft worden. Der hier erstellte Unterrichtsentwurf konzentriert sich deshalb auf die gängigsten Molekülbaukasten-Systeme, welche man über bekannte Adressen beziehen kann. Eine andere Möglichkeit ist der Einsatz von selbst erstellten Molekülmodellen. Solche Systeme

erfordern jedoch viel zeitliche Investition bei der Erstellung. Eine genaue Anleitung zum Erstellen solcher **Molekülmodellen auf low-cost-Basis** kann in **Kapitel 3.5** nachgeschlagen werden. Durch den didaktisch reduzierten Einsatz von **Molekülbaukasten-Systemen auf zweidimensionaler Basis**, wie im vorgeschlagenen low-cost-Modell-System, kann den Schülern einer gemischten Lerngruppe der Einstieg in die Arbeitsphase mit Modellunterstützung sehr erleichtert werden. Des Weiteren kann sich der Lehrer auf die Austeilung von einzelnen **sp³-hybridisierten Kohlenstoffatomen** nebst Einfachbindungen, sowie wahlweise Wasserstoffatomen beschränken, um die Schülergruppe in die gewünschte Zielrichtung zu lenken. Auch das verwendete **Periodensystem der Elemente** sollte den Anforderungen einer gemischten Lerngruppe entsprechend gewählt sein. Natürlich sind auch die üblichen käuflich zu erwerbenden Periodensysteme hier einsetzbar, allerdings sollte man als Lehrer auf gute Lesbarkeit dieser achten. Die Wahl der einzusetzenden Periodensysteme, z.B. das in *LiTeX* integrierte Periodensystem oder des an der *Carl-Strehl*-Schule eingesetzten Klapp-Periodensystems von **Prof. Dr. Hans-Helmut Kohler**, sowie ein konkretes Beispiel eines didaktisch reduzierten, taktilen Periodensystems für blinde und sehbehinderte Schüler werden in **Kapitel 5.2** näher diskutiert.

c) Das Tetraedermodell

Nach dieser etwa zehnminütigen Stillarbeitsphase mit einer anschlies senden offenen Diskussionsrunde über die erlangten Ergebnisse setzt man das „Entdeckende Lernen“ an den Molekülmodellen fort. Als Hilfsmittel stehen hier wieder die in der vorherigen Stunde eingesetzten Molekülbaukästen und das Periodensystem, sowie verschiedene **geometrische Modelle** wie z.B. Quader, Pyramiden usw. zur Verfügung. Anhand des vorher verwendeten zweidimensionalen Molekülbaukasten-Systems sollte nun, wie bereits angedeutet, die Abstraktion zu einem **dreidimensionalen Molekülbaukasten-System** erfolgen. Dadurch wird es der gemischten Lerngruppe möglich, organische Verbindungen dreidimensional zu erfahren, um so im späteren Verlauf des Unterrichts die einzelnen Hybridisierungsgrade bei den Alkanen, Alkenen und Alkinen besser zu verstehen. In der näheren Betrachtung sollte in dieser Phase der **Tetraederwinkel** stehen, welchen man wieder sehr gut am Beispiel des Methans beleuchten kann. Dreidimensionale Modelle für blinde und sehbehinderte Schüler sollten hierbei wieder den Umständen entsprechend ausgewählt werden. Man kann didaktisch reduzierte Modelle einsetzen, welche durch einen höheren Grad an Abstraktion zwar einzelne Details, welche im Zusammenhang mit der Dreidimen-

sionalität von organischen Verbindungen stehen, vermissen lassen. Gerade diese Modelle entwickeln jedoch durch ihr Erscheinungsbild eine hohe Konzentration auf die wesentlichen Struktureigenschaften. Einer gemischten Lerngruppe wird so das Strukturdenken in der Organischen Chemie durch **didaktische Reduktion** auf wesentliche Merkmale fast plastisch und sehr greifbar offenbart, was immens zum Verständnis des Sachverhalts dienen kann. Die Schüler werden bei Betrachtung und Deutung der strukturellen Eigenschaften von Methan schnell vermuten, dass hier physikalischchemische Eigenschaften der Grund für die mit Hilfe des Molekülbaukastens erfasste Tetraederanordnung der Wasserstoffatome verantwortlich sein müssen. An dieser Stelle sollte der Lehrer unbedingt nochmals, anhand des Periodensystems, auf die Valenzelektronen des Kohlenstoffatoms zu sprechen kommen, um in der Folge das **Valenzelektronenpaar-Abstoßungs-Modell** einzuführen. Nach dieser etwa 15-minütigen vom Lehrer angeleiteten Arbeitsphase, werden die erlangten Ergebnisse durch eine Lernplattform zur Nachbearbeitung gesichert (**vgl. Lernplattform 2 von 2 im Unterrichtsentwurf**).

Um mit der großen Anzahl an organischen Verbindungen arbeiten zu können, bedarf es einer Art **Kategorisierung verschiedener Verbindungen mit ähnlichen Eigenschaften**, welches Thema der nächsten Stunde sein wird.

11 Fächerübergreifender Unterricht - Chance oder unnötiges Laster?

Wie schon in den Betrachtungen zu den Modifikationen des Kohlenstoffs, insbesondere den **Fullerenen** als Molekülstruktur in der zweiten Stunde des Unterrichtsentwurfs erwähnt (vgl. **Kapitel 8.1**), existieren in der Chemie viele grundlegende **Anordnungsstrukturen der Elemente** untereinander, die in ihrer Symmetrie und ihrer Schönheit die Menschen schon seit jeher besonders fasziniert haben. Diese Strukturen, die man übrigens überall in unserer Umwelt wiederentdecken kann, können mit Hilfe **chemischer Sichtweisen**, aber auch aus **biologischen, physikalischen** und vor allem auch **mathematischen Perspektiven** betrachtet werden. Wenn es möglich ist, alle Einzeleindrücke zu fokussieren, so wird es dem Betrachter möglich, einen Gesamteindruck bestimmter struktureller Aspekte zu konstruieren. Gerade im Unterricht mit gemischten Lerngruppen mit blinden und sehbehinderten Schülern, denen die Faszination verschiedenster Naturerscheinungen oft im Dunkeln bleibt, steht der Lehrer in einer Art Aufklärungsverpflichtung gegenüber seinen Schützlingen. Die Erwähnung und Umschreibung dieser Tatsachen im Chemieunterricht des Gymnasiums mit seinen fachlich eingeschränkten Werkzeugen reicht dazu bei weitem nicht aus, um den Schülern dies zu genüge veranschaulichen zu können. Zudem kam in den letzten Jahrzehnten in unserem deutschen Schulsystem mehr und mehr die Frage auf, ob es erschöpfend genug ist, den fachlichen Unterricht unter Berücksichtigung der vom jeweiligen Bundesland vorgegebenen Lehrpläne, durch eine ausgewogene Mischung methodischer Hilfsmittel so attraktiv wie möglich zu gestalten. Im Hinterkopf der Reformpädagogen standen dabei immer wieder Aspekte der **Festigung der sozialen Struktur** von Lerngruppen bzw. **Integration des Einzelnen** in die Lerngruppe, um eine dadurch konstruierte Leistungssteigerung innerhalb der Gruppe zu erreichen. Dem zur Seite stand der pädagogische Ansatz „**learning by doing**“ des US-Amerikaners *John Dewey* als ultimative Geheimwaffe zur Gestaltung eines interessanten und vor allen Dingen effektiven reformpädagogischen Unterrichts in allen Fächern. Diesen Vereinbarungen standen verschiedene Methodiken zur Verfügung, die es ermöglichen sollten, die oben erwähnten Aspekte im Rahmen der vorgegebenen Lehrpläne in einem gesunden Maße verwirklichen zu können. Hierbei ist die Organisationsform des **Offenen Unterrichts** zu nennen, welcher alle offenen Unterrichtsformen, wie z.B. **Entdeckendes Lernen, Wochenplanunterricht** oder auch die **Projektarbeit** in sich vereinigt. Diese Methoden wurden allein in den jeweiligen Fächern angewandt, ohne sich außerhalb des fach-

lichen Rahmens hinaus zu bewegen. Eine andere Art der fachlichen Optimierung auf der einen Seite und der sozialen Festigung des Strukturgefüges Schule auf der anderen Seite etablierte sich allerdings erst in den letzten 20 Jahren zu einer festen Größe fachlichen Unterrichts. Der **fächerübergreifende Unterricht** ermöglicht es dem Lehrer, die Schüler durch Verändern des fachlichen Blickwinkels, im Fach Chemie etwa durch Einnehmen einer eher populärwissenschaftlichen Haltung nicht-naturwissenschaftlicher Fächer gegenüber einem chemischen Aspekt, einen neuen und vielleicht sogar besseren Zugang zu bestimmten Aspekten bieten zu können. Des Weiteren kann diese Kooperation der Fächer die Chance bieten, das soziale Gefüge innerhalb einer Lerngruppe **offene Unterrichtsformen** zu stabilisieren. [27]

Der fachlich versierte Leser wird natürlich einen fächerübergreifenden Unterricht mit dem Fach Biologie vorschlagen, da diese Arbeit die Einführung der Organischen Chemie ins Auge fasst. Gerade die historisch gebildete Definition von Organischer Chemie als Chemie der lebenden Organismen (**vgl. Kapitel 7.1 Der Unterrichtsentwurf der ersten Stunde**) drängt dem Leser die Betrachtung organischer Verbindungen, die in der Natur zu finden sind, bei denen biologische Aspekte die chemischen Sichtweisen in einem neuen vollkommeneren Licht erscheinen lassen können, geradezu auf. An dieser Stelle soll eine andere etwas außergewöhnliche Fächerkombination zur Verwirklichung einer solchen fächerübergreifenden Projektarbeit betrachtet werden. Die Mathematik kann für uns, auf der Suche nach den Regeln der Welt, als Sprache der Natur ein großes Hilfsmittel zum Verstehen von Formen und Strukturen sein. Dies beinhaltet auch chemische Strukturen, welche den Aufbau von Molekülen grundlegend umschreiben. So findet sich z.B. im Tetraeder eine solche Struktur wieder, die als Grundform die Anordnung organischer Moleküle beschreibt. Alkane besitzen, wie wir aus den Betrachtungen der vierten Stunde am Beispiel des Methans gesehen haben, tetraederische Anordnungsprinzipien (**vgl. Kapitel 10.1**). Begründet werden diese durch die energetisch günstige Stellung der C-H-Einfachbindungen zueinander, was wir aufgrund unser symmetrischen Denkweisen auch nie anzweifeln würden. Auf mathematische Weise lässt sich die tetraedrische Anordnung des Methan-Moleküls als günstigste Form sogar beweisen.

a) Das Fach Mathematik

Die Platonischen Körper

Im Rahmen der Recherche zur Erstellung dieses Unterrichtsentwurfs kam immer wieder die Frage, ob für sehbehinderte und blinde Schüler die dreidimensionale Gestalt des Tetraeders hinreichend im Chemieunterricht behandelt werden könne und ob die Erfahrungen aus den Gruppenarbeitsphasen und Unterrichtsgesprächen des Unterrichtsentwurfs zum Verstehen dreidimensionaler Strukturen organischer Moleküle fruchten würden. Der fächerübergreifende Unterricht drängte sich förmlich auf, um auf der Basis der mathematischen Betrachtung von Polyedern die tetraedrische Elektronendichteanordnung sp^3 -hybridisierter Kohlenstoffatome näher umschreiben und so die letzten Zweifel der Schüler beseitigen zu können.

Die Berechnung des Tetraederwinkels - Eine Herausforderung

Die erfahrenen Beobachtungen des Tetraederwinkels aus dem Chemieunterricht anhand der Molekülmodelle (**vgl. 10.1 Der Unterrichtsentwurf der vierten Stunde**) kann im Mathematikunterricht nochmals durch einfache mathematische Rechnungen überprüft werden, um den Schülern durch konkrete Bestimmung dieses Winkels die Richtigkeit der chemischen Annahmen zur Strukturgestalt des Methan-Moleküls aufzuzeigen. Dadurch wird die postulierte Größe des Winkels greifbarer und erhält ein sicheres Fundament, was besonders den blinden Schülern der Lerngruppe helfen sollte, da sie die erlangten Ergebnisse während der Stillarbeitsphasen während des Chemieunterrichts nicht nochmals durch eine optische Abschätzung des Ganzen am Modell des Methan-Moleküls nachvollziehen können (**vgl. auch Kapitel 12.1 Der Unterrichtsentwurf der fünften Stunde**).

In dieser etwa 45-minütigen Demonstration der **Berechnung des Tetraederwinkels**, werden zunächst einige grundlegende Fragen bezüglich der Winkelverhältnisse in Dreiecken, trigonometrischer Mathematik und räumlicher Struktur des Tetraeders mit Hilfe von ausgeteilten Materialien diskutiert. Ausgehend vom **Umkreismodell** wiederholen die Schüler dabei die aus dem Mathematikunterricht der achten Klasse bekannte Winkelsumme eines Dreiecks von 180° und den daraus resultierenden Winkeln am Umkreismittelpunkt von 120° . Nun lassen sich aus dem

Sternmodell und Kenntnissen aus der klassischen Trigonometrie (**Cosinussatz**) einzelne wichtige Abhängigkeitsrelationen ableiten, woraus man dann Schlussfolgerungen über die Größe des Tetraederwinkels ziehen kann. Das ausgeteilte **Dreiecksmodell** verdeutlicht diese Beziehungen zwischen den Winkeln nochmals. Es leitet die Schüler der gemischten Lerngruppe anhand einer Reduktion auf die wesentlichen Größen in eine bestimmte Zielrichtung, sodass sie nicht durch andere Größen irritiert und dadurch von der Lösung des Problems abgehalten werden. Die oben erwähnten Materialien werden in der Versuchsbeschreibung zur Demonstration näher erläutert (vgl. **Demonstration 5 in Anhang 21.5**). Die Berechnung des exakten Wertes kann sowohl für blinde Schüler, als auch für sehbehinderte Schüler am PC erfolgen. Der *TermEvaluator* von *Dr. Meinhard Sponheimer*, seines Zeichens Mathematiklehrer an der *Carl-Strehl*-Schule in Marburg, ermöglicht blinden und sehbehinderten Schülern die Berechnung größerer mathematischer Ausdrücke im laufenden Unterricht bei parallelem Einsatz von *LiTeX*. Das ist vor allem für blinde Mitschüler eine große Hilfe, da ein herkömmlicher Taschenrechner hier unbrauchbar wäre. Es gibt spezielle Taschenrechner mit integrierter **Braille-Zeile** und/oder **Sprachausgabe**, jedoch müsste man als Lehrer den Schülern den Einsatz des Taschenrechners in der vorhergehenden Stunde ankündigen, damit alle Schüler ihren eigenen Taschenrechner mitbringen, um an dieser wichtigen Arbeitsphase teilnehmen zu können. Nicht jeder der Schüler führt jeden Tag seinen eigenen Taschenrechner mit sich. Der Einsatz des *TermEvaluators* in Verbindung mit *LiTeX* ist daher sehr zu empfehlen.

SCHÜLER „Entdeckendes Lernen“

Demonstration 5: Berechnung des Tetraederwinkels

Zeitansatz: 45 Minuten

Aufgabe: Berechne den **Tetraederwinkel** zwischen den **H-C-H-Einfachbindungen** des Methan-Moleküls.

Hilfsmittel:

- **Tetraeder- und Umkreismodell**
- **Stern- und Dreieckmodell**

- **CVKTM-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)**
- **TermEvaluator** oder wissenschaftlicher **WindowsTM-Taschenrechner**

Durchführung:

Anhand der erstellten Methan- und geeigneter Tetraedermodelle soll der Tetraederwinkel zwischen den **H-C-H-Einfachbindungen** geschätzt werden. Nach diesen ersten Einschätzungen soll nun dieser Winkel mit Hilfe geeigneter Berechnungsmethoden (**Trigonometrie und Pythagoras**) genau bestimmt werden.

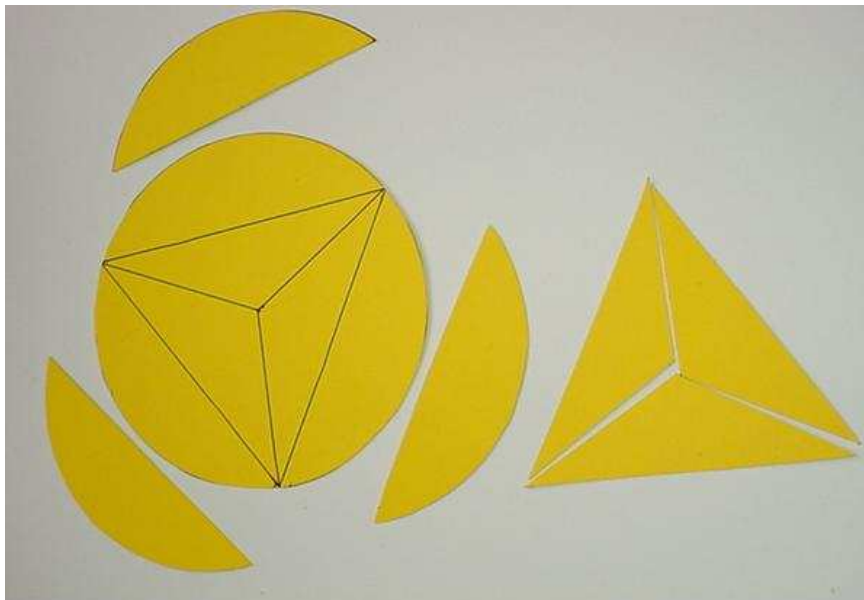


Bild 11.3: Das Umkreismodell

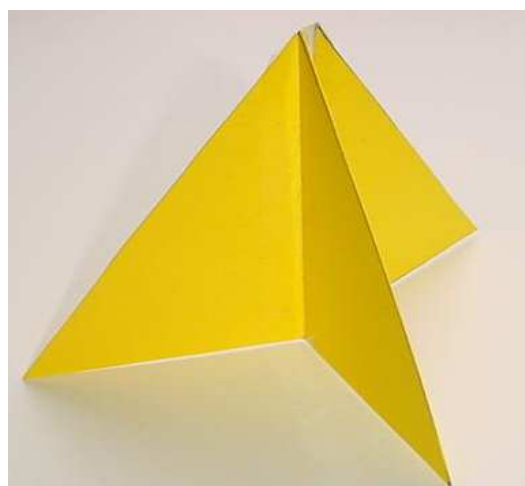
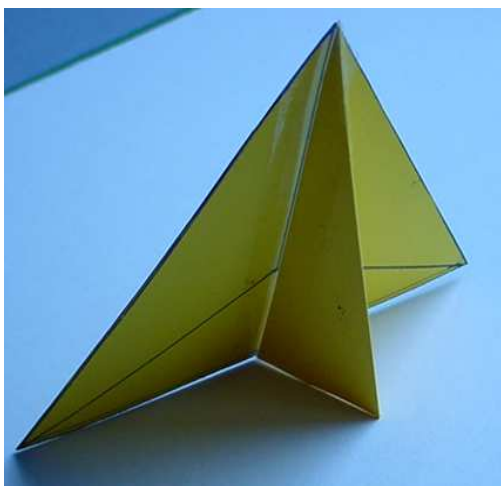


Bild 11.4: Dreieck- und Sternmodell

Ergebnis:

Der Tetraederwinkel beträgt etwa **109,47 °**. Man bezeichnet ein Zentralatom mit gleichwertiger Anordnung von vier Einfachbindungen als Atom mit **sp³-Charakter**. Ein Beispiel für ein solches Atom ist das Kohlenstoffatom im Methan-Molekül. Hier ordnen sich die einzelnen Wasserstoffatome im **energetisch günstigsten Abstand** zueinander an. Hinzu kommt, dass die Winkelsumme der Flächen um jede Tetraederecke nicht größer oder gleich 360° entsprechen darf.

SCHÜLER Lernplattform**Der Tetraederwinkel**

Das Kohlenstoffatom des Methan-Moleküls mit gleichwertiger Anordnung der vier C-H-Einfachbindungen besitzt sp³-Charakter. Der Winkel zwischen den H-C-H-Einfachbindungen beträgt 109,47° und wird als Tetraederwinkel bezeichnet. So nehmen die Wasserstoffatome den energetisch günstigsten Abstand zueinander an.

LEHRER informativer Lehrervortrag

Der (oder auch das) **Tetraeder** ist der einfachste Polyeder, der durch **gleich große, regelmäßige n-Ecke** begrenzt ist. Man nennt diese Körper **reguläre Polyeder** oder auch **Platonische Körper**. Zu ihnen zählen des Weiteren der **Würfel** (6-flächner), das **Oktaeder** (8-flächner), das **Dodekaeder** (12-flächner) und das **Ikosaeder** (20-flächner). Diese regulären Polyeder spielen in der Chemie unter anderem bei der Kristallstrukturbildung eine große Rolle. Es sind nur fünf solche Körper bekannt, da jede Ecke im Raum drei Kanten erfordert, welche wiederum drei Flächen stützen. Dieses Phänomen wurde durch **Euklid** bewiesen.

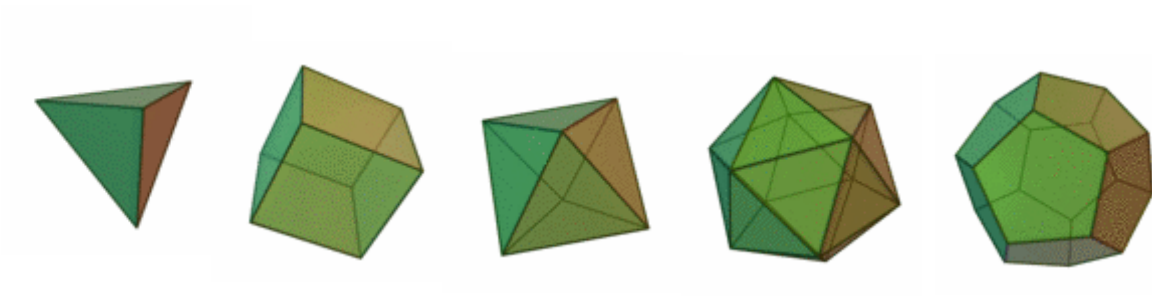


Bild 11.5: Die Platonischen Körper

Die **Winkelsumme der Flächen** um jede Ecke der Polyeder darf **nicht größer oder gleich 360°** sein. Im Ikosaeder etwa treffen fünf gleichseitige Dreiecke aufeinander, deren Winkelsumme von $5 \cdot 60^\circ = 300^\circ < 360^\circ$ beträgt. Ein dreidimensionales Gebilde mit einer Anordnung von sechs Flächen würde in die Zweidimensionalität zurückfallen.

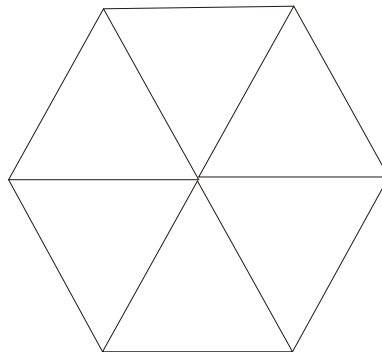


Bild 11.6: Anordnung von sechs Flächen um eine Ecke

Die räumliche Ecke würde verschwinden. Genauso wäre es bei einer Anordnung von weniger als drei Dreiecken, da man hier keine Ecke im dreidimensionalen Raum erhalten würde.

Eigenschaften von Platonischen Körpern - Die Dualität

Der **Euler'sche Polyedersatz** betrachtet die Anzahl der Ecken, Kanten und Flächen der einzelnen Polyeder und deren Beziehung zueinander. Für die Platonischen Körper gelten folgende Werte:

Platonischer Körper	Ecken	Kanten	Flächen
Tetraeder	4	6	4
Würfel	8	12	6
Oktaeder	6	12	8
Ikosaeder	12	30	20
Dodekaeder	20	30	12

Tabelle 11.7: Tabelle der Platonischen Körper

Der später erblindete deutsche Mathematiker *Leonhard Euler* (1707-1783) postulierte 1752 die allgemeine Beziehungsformel:

$$(\mathbf{Eckenanzahl} + \mathbf{Kantenanzahl}) - \mathbf{Flächenanzahl} = 2$$

Man erkennt außerdem eine gewisse Beziehung zwischen je zwei speziellen Polyedern, wie etwa dem **Würfel** und dem **Oktaeder**, bei denen die Kantenanzahl jeweils gleich ist. Zudem ist die Eckenanzahl des Würfels gleich der Flächenanzahl des Oktaeders. Es gilt auch das umgekehrte Analogon. Diese **Dualität** lässt es zu, einen Würfel auf bestimmte Weise in ein Oktaeder zu setzen und umgekehrt.

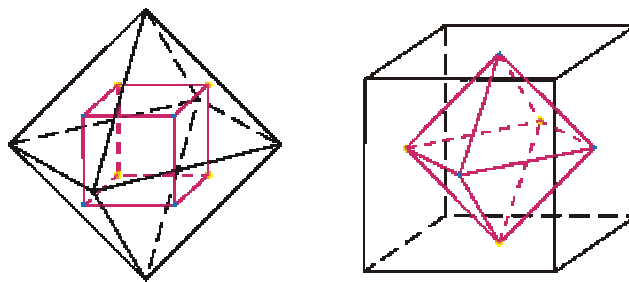


Bild 11.8: Die Dualität zwischen Würfel und Oktaeder

Dabei stoßen die Ecken des inneren Körpers bei gleicher Kantenlänge direkt durch die Mitten der einzelnen Flächen des äußeren Körpers. Diese Beziehung ist auch zwischen **Ikosaeder** und **Dodekaeder** zu finden. Durch symmetrisches Abschleifen der Ecken eines beliebigen Platonischen Körpers, kann dieser in sein duales Pendant überführt werden und umgekehrt. Das Tetraeder ist der einzige Platonische Körper, der zu sich selbst dual ist. Man bezeichnet dieses Phänomen auch als **stella octangula** (**achteckiger Stern**) nach dem deutschen Astronomen **Johannes Kepler** (1571 - 1630).

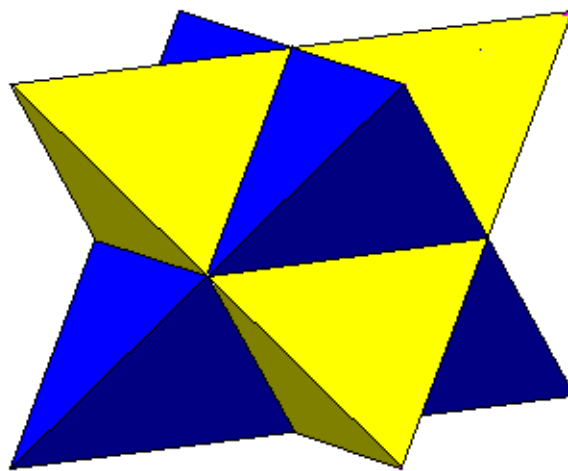


Bild 11.9: Der stella octangula nach Kepler

Und genau an dieser Stelle setzt sich nun der fächerübergreifende Unterricht mit den Überlegungen der **Physik** und der **Philosophie** ein.

b) Das Fach Physik

Im Zuge der Renaissance spielte **Kepler** sozusagen mit diesen fünf regulären Polyedern. Bekannt wurde er durch die von ihm postulierten **Kepler'schen Gesetze** aus dem Jahre 1609, in denen **Kepler** die Planetenbewegungen auf kreisförmigen Bahnen beschrieb. Er erklärte diese Bahnen in seinem Frühwerk „*Mysterium Cosmographicum*“ von 1595 durch In- und Umkugeln der Platonischen Körper, die er durch geeignete Anordnung ineinander einbeschrieb. Aus diesem Werk stammen folgende Zeilen:

"Die Erdbahn ist das Maß für alle anderen Bahnen. Ihr umschreibe ein Dodekaeder; die dies umspannende Sphäre ist der Mars. Der Marsbahn umschreibe ein Tetraeder; die dieses

umspannende Sphäre ist der Jupiter. Der Jupiterbahn umschreibe einen Würfel; die diesen umspannende Sphäre ist der Saturn. Nun lege in die Erdenbahn ein Ikosaeder; die diesen einbeschriebene Sphäre ist die Venus. In die Venusbahn lege ein Oktaeder; die diesem einbeschriebene Sphäre ist der Merkur. Da hast du den Grund für die Anzahl der Planeten."

[28]

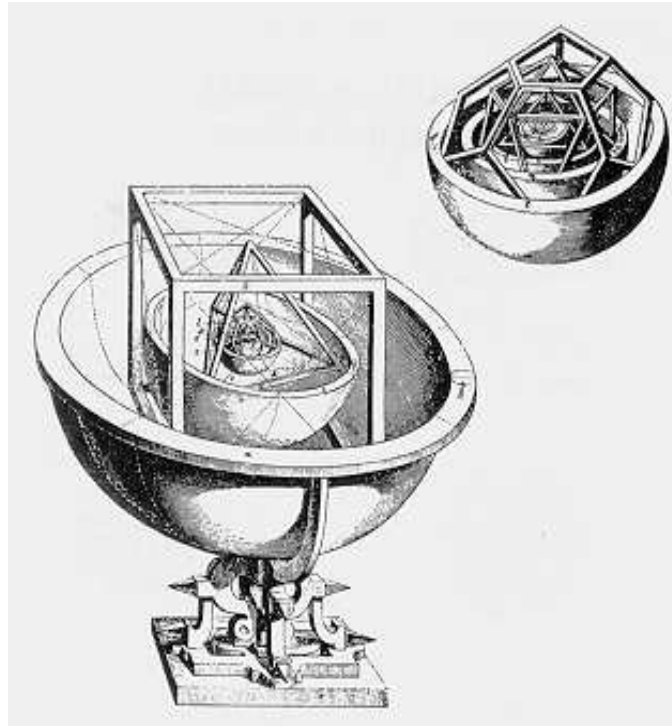


Bild 11.10: Der Kosmische Becher

Die **Kepler'schen Sphären** bildeten so die Grundlage für die Umlaufbahnen der sechs damals bekannten Planeten **Merkur**, **Venus**, **Erde**, **Mars**, **Jupiter** und **Saturn**. Im Jahre 1781 wurde das Weltbild **Keplers** jedoch mit der Entdeckung des Planeten Uranus gestürzt. 1619 stellte **Kepler** sein Hauptwerk „*Weltharmonik*“ fertig, in dem er die astronomische Symmetrie der Welt und des Universums mit der Kunst und der Musik in Einklang brachte. An dieser Stelle sind fächerübergreifende Unterrichtseinheiten in den Fächern **Kunst** und **Musik** zu empfehlen.

c) Das Fach Kunst

Auch viele Künstler der Neuzeit bedienten sich den regulären Polyedern wie man am Beispiel des niederländischen Künstlers **Maurits Cornelis Escher** (1898 - 1972) sehen

kann. *Escher* beschäftigte sich zeitlebens mit optischen Täuschungen, welche ihm großen Ruhm einbrachten. Aber auch durch die Faszination symmetrischer Flächenmuster wusste er zu begeistern. Sein berühmter Holzstich „Stars“ aus dem Jahre 1948 zeigt die Wiederentdeckung der Platonischen Körper sehr deutlich. Man erkennt alle fünf Platonischen Körper als *Eschers Sterne* wieder.

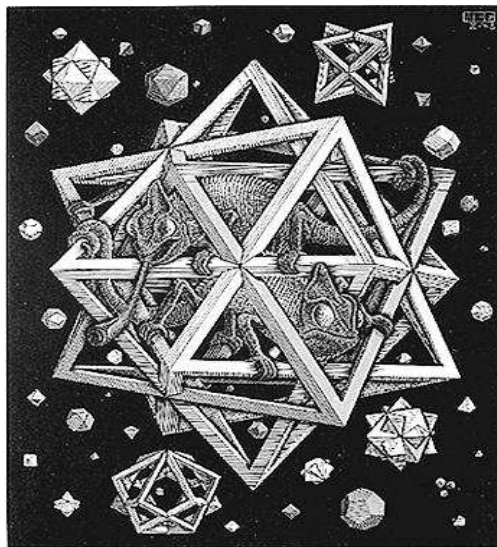


Bild 11.11: „Stars“ (1948) von *Escher*

Für blinde Schüler ist bei der Besprechung der Platonischen Körper im Fach Kunst darauf zu achten, dass man sich als Lehrer natürlich nicht nur auf Verbildlichungen der Thematik beschränken kann. Die symmetrischen Grundformen können durch taktile Arbeitsmaterialien für diese Gruppe von Schülern veranschaulicht werden. An dieser Stelle sei erwähnt, dass *Escher* zudem eine in limitierter Auflage erhältliche Naschdose in Form eines Dodekaeders als eins seiner wenigen kommerziellen Werke entwarf. Alle Arbeiten und Informationen über diesen großen Künstler können seit 2002 im ***Escher-Museum*** zu Den Haag besichtigt werden, was den Anreiz zu einer Klassenfahrt geben könnte. Um im Vergleich zu *Kepler* noch weiter in philosophische Deutungen der Platonischen Körper zu vorzudringen, ist es möglich die Arbeiten des eigentlichen Namensgebers dieser regulären Polyeder, dem griechische Philosoph und Naturwissenschaftler ***Platon*** (427 - 347 v. Chr.), zu studieren. Das Fach Kunst kann neben der Besprechung bekannter Werke außerdem dafür genutzt werden, die verschiedenen Körper zu basteln. Gerade blinde Schüler bekommen so einen umfassenden Überblick über diese Grundformen und die Beziehungen der Platonischen Körper zueinander.

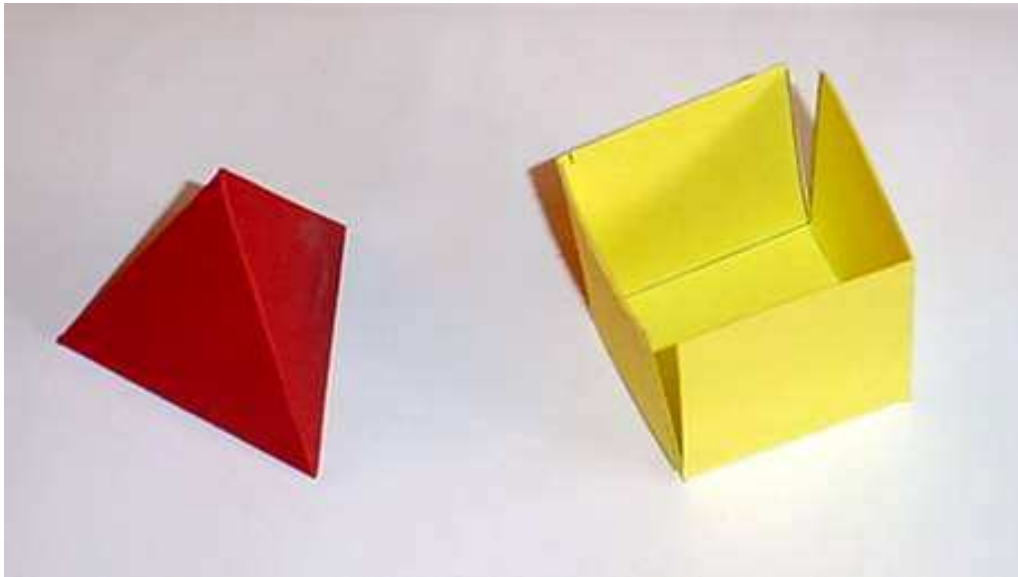


Bild 11.12: Gebastelte Modelle der Platonischen Körper im Kunstunterricht

d) Die Fächer Philosophie und Griechisch

Im 4. Jahrhundert vor Christus schrieb *Platon* nach langen wissenschaftlichen Gesprächen mit den großen Griechen der damaligen Zeit, wie etwa *Sokrates*, *Euklid* oder auch *Theaitetos*, einen Dialog namens „*Timaios*“.

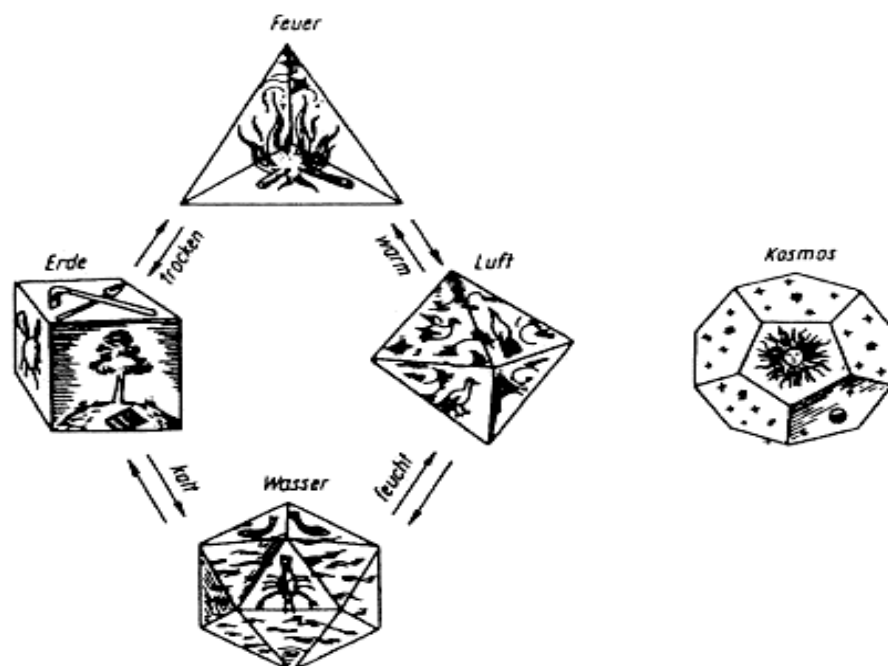


Bild 11.13: Die Vier-Elemente-Lehre

In diesem Werk legt er schon Jahrhunderte vor **Kepler** seine Ansicht des Kosmos dar, welche sich im Wesentlichen auf die vier Elemente **Wasser, Feuer, Luft und Erde** gründete. Die Platonischen Körper waren hierbei die sogenannten Repräsentanten dieser Grundelemente. Das **Dodekaeder** repräsentierte die *quinta essentia*, das fünfte Seiende oder auch Äther genannt. **Platon** konstruierte die Grundflächen der regulären Polyeder aus zwei recht winkligen Grunddreiecken, welche sich in ihrer Größe unterschieden. So war es ihm möglich, die Tetraedergrundfläche aus sechs kongruenten Dreiecken zu konstruieren. In „*Timaios*“ heißt es:

„Gott wusste, aus welchen Formen die schönsten Körper würden. die einfachste form ist das Dreieck. Das schönste Dreieck ist jenes rechtwinklige, in welchem die eine Kathete die Hälfte der Hypothenuse ist; das nächste schöne ist das gleichschenklige rechtwinklige Dreieck. Ersteres, in drei Paaren vereinigt, gibt das gleichseitige Dreieck; aus letzterem, in zwei Paaren vereinigt, entsteht das Quadrat. aus gleichseitigen Dreiecken bestehen das Tetraeder, das Oktaeder und das Ikosaeder, aus Quadraten aber das Hexaeder. diese vier formen kommen in entsprechender Reihenfolge den Elementen Feuer, Luft, Wasser, Erde zu. Die wechselseitigen Übergänge der Elemente ineinander beruhen nun darauf, dass z.B. die 20 Dreiecke eines Ikosaeders, d.h. eines Moleküls Wasser, sobald das Ikosaeder in seine Bestandteile aufgelöst ist, wieder mannigfaltig vereinigt werden können, also z.B. in fünf Tetraeder oder in zwei Oktaeder und einen Tetraeder usf.“ (vgl. [29], S. 135 f.)

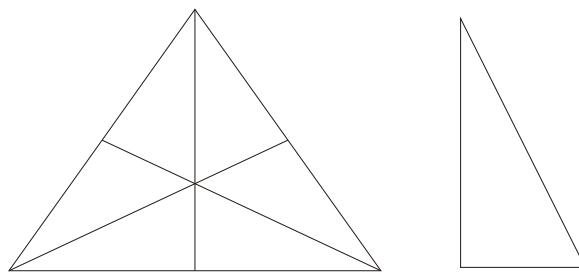


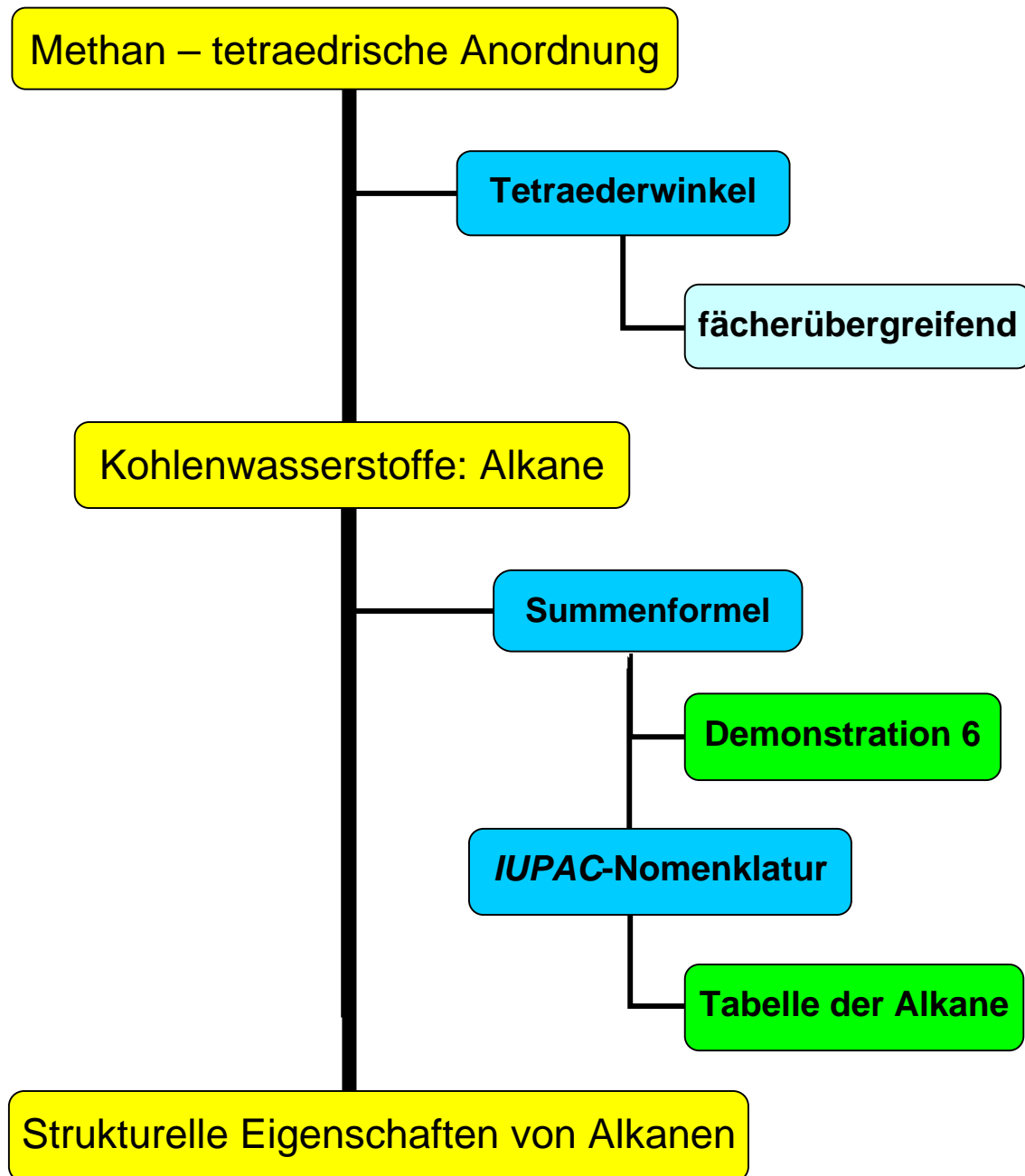
Bild 11.14: Eine konstruierte Tetraedergrundfläche

Durch Umlagerung der Grunddreiecke (*stoicheia*) können die einzelnen Grundflächen und somit geeignete Platonische Körper ineinander überführt werden. **Platon** erklärte sich so die Umwandlung von Luft (Oktaeder) in Wasser (Ikosaeder) und umgekehrt. Im Fach Griechisch kann bei Besprechung der Platonischen Körper der

Dialog „*Timaios*“, sowie weiterführende Texte in der Originalsprache ausgehändigt werden. Diese Theorie Platons war im Grunde der Anfang der **Elementarteilchentheorie** der Physik des 20. Jahrhunderts. Der deutsche Physiker **Werner Heisenberg** meinte einst:

„In der heutigen Quantentheorie können wir kaum daran zweifeln, dass die Elementarteilchen letzten Endes auch mathematische Formen sind, aber solche einer sehr viel komplizierteren und abstrakteren Art. Die griechischen Philosophen dachten an statische, geometrische Formen und fanden sie in den regulären Körpern.“ (vgl. [30], S. 55 f.)

Durch diese alchemistische Betrachtungsweise der Platonischen Körper schließt sich der Kreis des fächerübergreifenden Unterrichts, ausgehend von der speziellen **Organischen Chemie, über die Mathematik, Physik, Biologie, Musik, Kunst, Griechisch, Geschichte** und der **Philosophie** zurück zu **physikalisch-chemischen Grundformen** der Elementarteilchentheorie. Die teilnehmenden Schüler gehen von einer relativ spezifischen Sicht des Gegenstandes aus, entfernen sich immer mehr von dieser und bekommen mit den Blickwinkeln anderer Fächer einen sehr weit reichenden Gesamtüberblick über die Materie, den sie dann wieder im Gegenstand selbst fokussieren. Dieser **Dialog der Fächer** motiviert durch seine Offene Unterrichtsform und den Blick „hinter die Kulissen“ der Thematik mit den Werkzeugen anderer Fachgebiete neben dem naturwissenschaftlich interessierten Schüler zudem auch all Diejenigen, denen die naturwissenschaftlichen Phänomene und Strukturdenkweisen sehr schwer fallen. [31]

12 Fünfte Stunde: Einführung der Alkane - IUPAC-Nomenklatur**Der Fahrplan für die fünfte Stunde**

12.1 Der Unterrichtsentwurf der fünfte Stunde

SCHÜLER Wiederholungsphase

Zeit

0

Zeitansatz: 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- Methan-Luft-Gemische sind explosiv
- Tetraedermodell
- Valenzelektronenpaar-Abstoßungsmodell

LEHRER Unterrichtsgespräch mit Modellvorführung

3

Bei der einfachsten Kohlenwasserstoffverbindung, dem Methan, bilden jedes der vier Valenzelektronen des zentralen Kohlenstoffatoms mit dem Valenzelektron des Wasserstoffatoms eine gemeinsame Elektronenpaarbindung. Nach dem **Valenzelektronenpaar-Abstoßungsmodell** ordnen sich die vier Wasserstoffatome möglichst weit im günstigsten Abstand voneinander an. Das **Methan-Molekül** besitzt somit eine Tetraederstruktur folgender Gestalt:

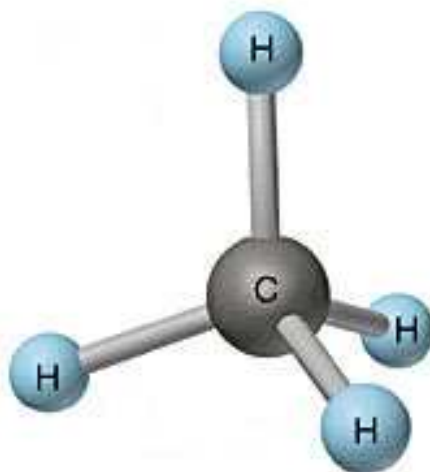


Bild 12.1: Die Struktur des Methan-Moleküls

Das Kohlenstoffatom des Methan-Moleküls mit gleichwertiger Anordnung der vier C-H-Einfachbindungen besitzt **sp³-Charakter**. Dadurch kommt es zur Ausbildung

einer Vielzahl von organischen Molekülen zu **Ketten-** und **Ringbildung** der Kohlenstoffatome untereinander. Der Winkel zwischen den H-C-H-Einfachbindungen beträgt **109,47°** und wird als **Tetraederwinkel** bezeichnet. So nehmen die Wasserstoffatome den energetisch günstigsten Abstand zueinander ein. (vgl. auch **Kapitel 11 Fächerübergreifender Unterricht - Chance oder unnötiges Laster?**)

SCHÜLER Lernplattform 1 von 3

8

Der Tetraederwinkel

Das Kohlenstoffatom des Methan-Moleküls mit gleichwertiger Anordnung der vier C-H-Einfachbindungen besitzt nach dem Valenzelektronenpaar-Abstoßungsmodell sp^3 -Charakter. Der Winkel zwischen den H-C-H-Einfachbindungen beträgt **109,47°** und wird als Tetraederwinkel bezeichnet. So nehmen die Wasserstoffatome den energetisch günstigsten Abstand zueinander ein.

LEHRER informativer Lehrervortrag

12

Die einfachsten organischen Verbindungen, die Kohlenwasserstoffe, werden nach ihren chemischen Eigenschaften in drei verschiedene Gruppen eingeteilt:

- gesättigte Kohlenwasserstoffe – **Alkane**
- ungesättigte Kohlenwasserstoffe – **Alkene / Alkine**
- aromatische Kohlenwasserstoffe – **Aromaten**

SCHÜLER Lernplattform 2 von 3

Die einfachsten organischen Verbindungen sind die Kohlenwasserstoffe.
Sie werden unterteilt in

- gesättigte Kohlenwasserstoffe – Alkane
- ungesättigte Kohlenwasserstoffe – Alkene / Alkine
- aromatische Kohlenwasserstoffe – Aromaten

LEHRER informativer Lehrervortrag

16

Einführung der Alkane

Der Einfachheit halber sollen während der ersten Stunden der Einführungsphase in die Organische Chemie nur gesättigte Kohlenwasserstoffe Betrachtung finden. Ausgehend von der einfachsten Kohlenwasserstoffverbindung **Methan**, lässt sich durch Aufbau des Kohlenstoffgerüsts die Stoffgruppe der **Alkane** ableiten. Alkane bestehen nur aus **Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen**, die **allein durch Einfachbindungen** miteinander verknüpft sind.

SCHÜLER „Entdeckendes Lernen“**Demonstration 6:** Strukturelle Eigenschaften von Alkanen**Zeitansatz:** 15 Minuten

Aufgabe: Erstelle einfache **Kohlenwasserstoffe** mit Hilfe des Molekülbaukastens. Hierbei sollen zunächst nur Verbindungen erstellt werden, welche einzig aus **Einfachbindungen** zusammengesetzt sind.

Leitfrage: Welche **Regelmäßigkeiten** sind in den erstellten Molekülstrukturen zu erkennen?

Hilfsmittel:

- Periodensystem
- CVK™-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)

Ergebnis:

Es gibt viele verschiedene Kohlenwasserstoffverbindungen, welche sich in der **Länge der Kohlenstoffkette**, sowie auch in der **Aneinanderreihung** dieser unterscheiden. In den **Alkan-Molekülen** sind aufgrund der Vierbindigkeit der Kohlenstoffatome immer **mehr Wasserstoffatome als Kohlenstoffatome** enthalten. Zählt man in jedem Molekül der in der Realität existierenden Alkan-Verbindung jeweils die Anzahl der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome, so sind **pro n Kohlenstoffatomen immer (2·n+2) Wasserstoffatome** vorhanden. Alkane unterscheiden sich nur durch hinzukommende **CH₂-Gruppen (Methylen-Gruppen)**. Die allgemeine Formel der Alkane lautet **C_nH_{2n+2}**.

SCHÜLER Lernplattform 2 von 3

31

Alkane sind gesättigte Kohlenwasserstoffe

Allgemeine Formel der Alkane: **C_nH_{2n+2}**

Die Alkane unterscheiden sich strukturell durch hinzukommende **CH₂-Gruppen (Methylen-Gruppen)**.

LEHRER informativer Lehrervortrag

33

Nomenklatur der Alkane

Allen Alkanen ist gemein, dass sie auf die **Endung „-an“** hören. So gehören gasförmige Alkane wie etwa das Meth**an** oder das Eth**an** genauso zu den Alkanen, wie etwa das flüssige Hex**an** oder das feste Eicos**an**.

Leitfragen:

- 1.) **Wie lassen sich Alkane nun kategorisieren?**
- 2.) **Woher bekamen die Alkane ihren Namen und nach welchem Prinzip werden die Alkane geordnet?**

Diese Frage wird durch die **Homologe Reihe** und die **Nomenklaturregeln** der *International Union of Pure and Applied Chemistry*, kurz **IUPAC**, beantwortet, wobei alle Verbindungen mit ähnlichem Strukturgerüst und gleichen funktionellen Gruppen in einem Ordnungsprinzip zusammengefasst werden. Aufgrund der allgemein gültigen Einteilung der **IUPAC** werden für die vier kleinsten Alkane die historisch entstandenen Namen Methan, Ethan, Propan und Butan beibehalten. Für die übrigen Alkane ergibt sich der so genannte **systematische Name** der Verbindung aus der Anzahl der Kohlenstoffatome nach den Zahlwörtern des griechischen Alphabets (**Pentan**, **Hexan**, **Heptan**, **Octan**, **Nonan**, etc.). Folgende Tabelle zeigt ausgewählte Alkane:

<i>Name</i>	<i>Summenformel</i>	<i>Siedepunkt in °C</i>
<i>Methan</i>	<i>CH₄</i>	<i>- 161,7</i>
<i>Ethan</i>	<i>C₂H₆</i>	<i>- 88,6</i>
<i>Propan</i>	<i>C₃H₈</i>	<i>- 42</i>
<i>Butan</i>	<i>C₄H₁₀</i>	<i>- 0,5</i>
<i>Pentan</i>	<i>C₅H₁₂</i>	<i>36</i>
<i>Hexan</i>	<i>C₆H₁₄</i>	<i>68,7</i>
<i>Heptan</i>	<i>C₇H₁₆</i>	<i>97 - 99</i>
<i>Octan</i>	<i>C₈H₁₈</i>	<i>126</i>
<i>Nonan</i>	<i>C₉H₂₀</i>	<i>151</i>
<i>Decan</i>	<i>C₁₀H₂₂</i>	<i>174</i>
<i>Eicosan</i>	<i>C₂₀H₄₂</i>	<i>zersetzt sich</i>

Tabelle 12.1: Einfache n-Alkane

Hinweis: Die Tabelle sollte den Schülern als *MS-Word*TM-Datei ausgehändigt werden. Es wurde sich zu diesem Zeitpunkt der Einfachheit halber auf n-Alkane beschränkt.

SCHÜLER Lernplattform 3 von 3

41

Nomenklaturregeln nach IUPAC

International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) fasst alle Verbindungen mit ähnlichem Strukturgerüst und gleichen funktionellen Gruppen in einem Ordnungsprinzip zusammen. Ausgehend vom Methan lassen sich die weiteren Alkane durch Aufbau des Kohlenstoffgerüsts ableiten. **Methan, Ethan, Propan** und **Butan** sind historisch entstanden, weitere Alkane leiten sich aufsteigend durch Zahlwörter des griechischen Alphabets ab.

LEHRER Ausblick auf die nächste Stunde

45

In der nächsten Stunde sollen die Gründe für die Unterschiede in den Aggregatzuständen der Alkane, welche man aus der Tabelle entnehmen kann, erläutert und diskutiert werden.

12.2 Didaktische und methodische Betrachtung der fünften Stunde

Der Einstieg in die Stunde hat, wie in den Stunden zuvor, wiederholenden Charakter. Hierbei sollte der Lehrer nochmals auf die **Explosivität von Stoffgemischen** am Beispiel eines **Methan-Luft-Gemisches** eingehen. Zudem sollte das **Valenzelektronenpaar-Abstoßungsmodell** mit zugehörigem **Tetraedermodell** diskutiert werden, welches in der vorhergehenden Stunde mit Hilfe einer Stillarbeitsphase an geeigneten Modellen hergeleitet und auf seine Struktur hin analysiert wurde.

a) Der Tetraederwinkel

An dieser Stelle muss der Lehrer den Tetraederwinkel, wenn er nicht die Möglichkeit besitzt, in einem fächerübergreifenden Unterricht mit dem Fach Mathematik diesen Winkel durch Berechnung herzuleiten, nochmals in einer weiteren Gesprächsphase zusammen mit der Lerngruppe betrachten. Um in der folgenden Stunde auf die strukturellen Eigenschaften von Alkanen zu sprechen zu kommen, ist es notwendig nochmals das **Valenzelektronenpaar-Abstoßungsmodell** anknüpfend an die Wiederholungsphase kurz innerhalb des Plenums zu diskutieren. Hierbei muss der Lehrer die energetische Begünstigung dieser Anordnungsweise der gleichwertigen Wasserstoffatome um das zentrale Kohlenstoffatom erwähnen. Der Tetraederwinkel muss infolge des Unterrichts der letzten Stunde durch Angabe der Größe transparent gemacht werden, was vor allem bei sehgeschädigten Schülern ziemlich wichtig ist. Am Molekülmodell des Methans sollte dieser Wert zudem für alle Schüler nochmals taktil erfahrbar gemacht werden. Im Zusammenhang mit dieser Diskussion sollte nochmals auf die aus **Versuch 4** erfahrene Reaktionsträgheit der C-H- bzw. C-C-Einfachbindungen eingegangen werden. Eine erste Lernplattform sichert die energetischen Überlegungen, sowie den Zahlwert für den Tetraederwinkel (**vgl. Lernplattform 1 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Allgemein soll in dieser Stunde nun die gemischte Lerngruppe in die Welt der Kohlenwasserstoffverbindungen eingeführt werden. Der Lehrer sollte an dieser Stelle viele grundlegende Fragen bezüglich der Organischen Chemie, welche noch nicht im Vorfeld der ersten Stunden des Einführungsunterrichts zur Sprache gekommen sind, am Beispiel dieser einfachsten organischen Verbindungen beantworten.

b) Die Kategorisierung in der Organischen Chemie

Ausgehend von den Kohlenwasserstoffen soll nun im Folgenden eine Art **Kategorisierung** hergeleitet werden, um die Vielzahl an organischen Verbindungen überschaubar zu machen. Hier nennt der Lehrer zunächst, auf die erlangten Ergebnisse der vergangenen Stunde zurückgreifend, den Grund für die spezielle Kategorisierung in der Organischen Chemie. Dabei sollten als wichtige Gründe die große Anzahl, sowie wichtige eigenschaftliche Unterscheidungskriterien zur Kategorienbildung nochmals deutlich herausgestellt werden. Der Lehrer erwähnt danach die allgemein gültige Einteilung der Kohlenwasserstoffe, um einen groben Fahrplan für die nächsten Stunden in der Einführung der Organischen Chemie zu konstruieren. Dadurch stellt der Lehrer an dieser Stelle sozusagen einzelne „Wegweiser“ auf, welche der Lerngruppe den Weg bis zur nächsten Klausur offenbaren. Das ist im Umgang mit einer gemischten Lerngruppe aus blinden und sehbehinderten Schülern sehr wichtig, da diese leichter die Orientierung im „Dschungel“ des Unterrichtsstoffes verlieren können. Die homologische Unterteilung der Kohlenwasserstoffe in **gesättigte (Alkane)** und **ungesättigte Kohlenwasserstoffverbindungen (Alkene, Alkine)**, sollte dabei in einer kurzen Lernplattform für die Schüler am PC gesichert werden (**vgl. Lernplattform 1 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Es bietet sich im Anschluss an diese Stoffsicherungsphase an, mit den einfachsten Kohlenwasserstoffe, den **Alkanen**, zu starten. Von den Bindungsverhältnissen ausgehend ist es dem Lehrer leicht möglich, die Definition des vollkommenen Sättigungsgrades der Alkane anhand der vorliegenden **C-C-Einfachbindungen** herzuleiten. Dieses Vorgehen leitet dann auf einfache Art und Weise die folgende Stillarbeitsphase am Modell ein, in der sich jeder Schüler der gemischten Lerngruppe an der **Konstruktion gesättigter Kohlenwasserstoffe** mit Hilfe des Molekülbaukastens und des Periodensystems versuchen soll. Dem Lehrer ist es in dieser Arbeitsphase möglich, nochmals allgemeine Grundlagen, wie z.B. die **Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms** und die dadurch entstehende Regelmäßigkeit in der Verbindung der Kohlenstoffatome untereinander, zu wiederholen, um diese weiter zu festigen. Außerdem lernen die Schüler so das Arbeiten mit Molekülbaukästen. Der gute Umgang mit den Bausätzen muss vom Lehrer, für die Erstellung großer komplexerer Molekülstrukturen in kommenden Unterrichtsstunden, als unabdingbar vorausgesetzt werden. Als Ergebnis sollen die Schüler nun herausfinden, dass durch die Vierbindigkeit der einzelnen Kohlenstoffatome, sowie durch die Anordnung der Wasser-

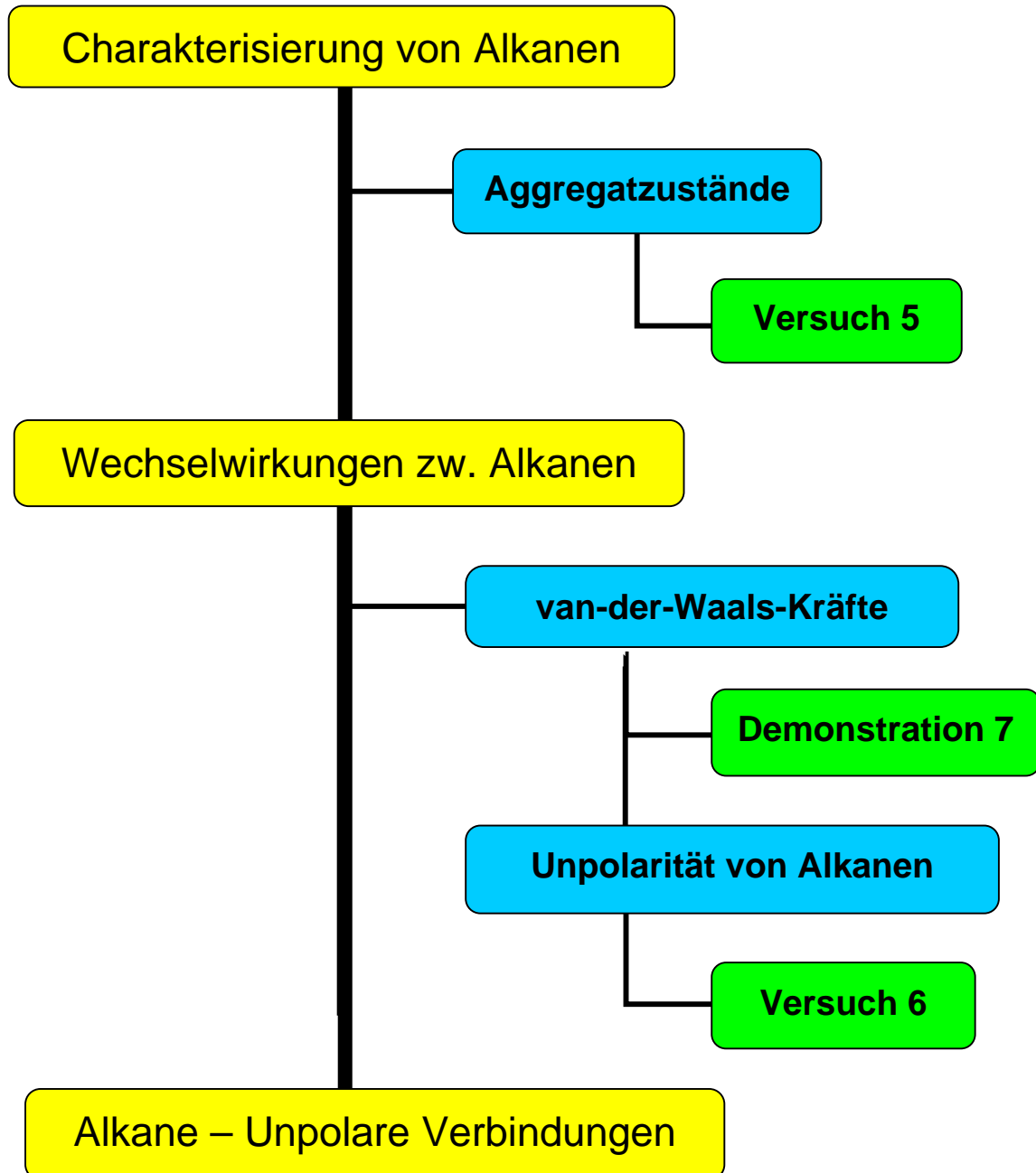
stoffatome an den endständigen Kohlenstoffatomen, die Wasserstoffatome den Kohlenstoffatomen zahlenmäßig überlegen sind. Die Schüler können sogar durch Abzählen und in Proportion setzen der in den einzelnen Molekülen enthaltenen Kohlenstoff- bzw. Wasserstoffatome, eine allgemein für gesättigte Kohlenwasserstoffe gültige Formel herleiten. Pro **n Kohlenstoffatome** sind immer **(2·n+2) Wasserstoffatome** vorhanden, die allgemeine Formel für gesättigte Kohlenwasserstoffe lautet demnach C_nH_{2n+2} . Dieses Ergebnis sollte zum Abschluss dieser Phase durch eine zweite Lernplattform gesichert werden (**vgl. Lernplattform 2 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

c) Nomenklatur organischer Verbindungen nach IUPAC

Anschließend an diese kurze Einführung zur Strukturgestalt, bietet sich die Einführung der **IUPAC-Nomenklatur** am Beispiel der Alkane als einfachste Kohlenwasserstoffverbindungen an. Diese Einführung zu diesem Zeitpunkt ist wichtig, um den Schülern die Bedeutsamkeit der vorher schon öfters erwähnten Kategorisierung nahe zu bringen. Dabei benennt der Lehrer zunächst nur die **systematischen Namen** der ersten Alkane der **Homologen Reihe** in aufsteigender Folge. Die Allgemeinheit der Endung, sowie der Einsatz griechischer Abzählweise sollte dabei Lernziel Nummer eins sein. Die spezielle Nomenklatur organischer Verbindungen wird hier außer Acht gelassen, da sie an späterer Stelle, bei der Einführung von **Isomeren** detailliert betrachtet wird. Des Weiteren würde eine genauere Betrachtung der einzelnen Nomenklaturregeln zu diesem noch sehr frühen Zeitpunkt nur für Verwirrung sorgen bzw. viele Erkenntnisse vorweg nehmen. Die Schüler werden diese Erkenntnisse im späteren Verlauf des Unterrichts durch „Entdeckendes Lernen“ noch selbst erfahren, was somit eine viel effektivere Methodik darstellt. Im Zuge dieser kurzen Einführung sollte der Lehrer den Schülern eine kleine **Tabelle** mit einfachen Alkanen an die Hand geben, wobei sich die Informationen zunächst nur auf die Summenformel und die Siedepunkte der **n-Alkane** zur Homologienbildung beschränken sollten. Die Handreichungen können zum einen natürlich in gedruckter Form für sehbehinderte Schüler ausgegeben werden. Für blinde Schüler sollte eine **MS-Word™**-Datei auf die Rechner geladen werden oder auf einem anderen Medium (Unterrichts-CD, -diskette, etc.) ausgeteilt werden. Eine Tabelle zur Homologen Reihe der Alkane im Unterricht zu erstellen würde nur unnötige Zeit wegnehmen, welche eigentlich für wichtigere chemische Aspekte zur Verfügung stehen sollte. Die Informationen zur **IUPAC**, sowie zur Nomenklatur der Alkane, werden zum Ende der Stunde in einer weiteren

Lernplattform gesichert (**vgl. Lernplattform 3 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Den Schluss der Stunde bildet wieder der **ritualbildende Ausblick** auf die nächste Stunde, in dem kurz angedeutet wird, dass hier der Ursache der unterschiedlichen Aggregatzustände der Alkane auf den Grund gegangen werden soll.

13 Sechste Stunde: Wichtige physikalische Eigenschaften von Alkanen**Der Fahrplan für die sechste Stunde**

13.1 Der Unterrichtsentwurf der sechsten Stunde**Zeit****SCHÜLER** Wiederholungsphase**0****Zeitansatz:** 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- Tetraederwinkel
- Allgemeine Summenformel der Alkane C_nH_{2n+2}
- Nomenklatur der Alkane nach *IUPAC*

SCHÜLER Gedankenexperiment**3****Zeitansatz:** 3 Minuten**Aufgabe:** Anhand der in der Vorstunde erstellten Alkane soll der allgemein gültige Name der einzelnen Verbindungen nach *IUPAC* ermittelt werden.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch**6****Versuch 5:** Ausgewählte Alkane und deren physikalische Unterschiede**Zeitansatz:** 10 Minuten**Durchführung:**

Verschiedene Alkane (Methan, Butan, Heptan, Eicosan) werden auf ihre Aggregatzustände und physikalischen Eigenschaften hin untersucht.

Ergebnis:

Methan: farbloses und geruchloses Gas, verbrennt sauber mit leicht gelblicher Flamme (**vgl. Versuch 1 in Anhang 21.1**)

Butan: farbloses und geruchloses Gas, unter 0°C flüssig, verbrennt mit rußender gelber Flamme

Heptan: farblose Flüssigkeit, petroleumartiger Geruch, verbrennt mit stark rußender gelber Flamme

Eicosan: weißer wachsartiger Feststoff, geruchsarm, schmilzt bei leichtem Erwärmen und brennt nicht

LEHRER Unterrichtsgespräch**16**

Die niederen Alkane **Methan, Ethan, Propan** und **Butan** sind bei Raumtemperatur **gasförmige Verbindungen**. Die **folgenden Alkane**, welche diese Reihe fortsetzen, sind bei Raumtemperatur **flüssig bis zähflüssig**. Ab 17 Kohlenstoffatomen (**Heptadecan**) beginnen die **festen, wachsartigen Alkane**, auch **Paraffine** genannt.

SCHÜLER Lernplattform 1 von 3**Die Aggregatzustände der Alkane**

Die ersten vier Alkane sind gasförmige Verbindungen. Die nachfolgenden Alkane der homologen Reihe sind flüssig, ab 17 Kohlenstoffatomen beginnen die festen, wachsartigen Alkane, auch Paraffine genannt.

SCHÜLER Gedankenexperiment**Demonstration 7: Wechselwirkungen zwischen Alkan-Molekülen****Zeitansatz: 10 Minuten****Aufgaben:**

- 1.) Finde ein Alkan, welches einen ähnlichen Siedepunkt wie Wasser hat.
- 2.) Vergleiche beide Verbindungen, indem du die strukturelle Gestalt und weitere physikalische Eigenschaften diskutierst.

Leitfrage:

Worauf beruht die Tatsache, dass sich der Aggregatzustand der Alkane bei zunehmender Größe der Moleküle von gasförmig über flüssig nach fest verschiebt?

Hilfsmittel:

- Tabelle der Alkane aus der fünften Stunde
- CVKTM-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)
- Periodensystem der Elemente

Ergebnis:

Heptan besitzt einen **Siedepunkt** von etwa **98 °C**, was dem Siedepunkt von **Wasser** von etwa **100 °C** sehr nahe kommt. Beide Verbindungen sind klare Flüssigkeiten, jedoch lässt sich Heptan durch seinen petroleumartigen Geruch vom geruchslosen Wasser olfaktorisch unterscheiden. Strukturell unterscheiden sich beide Verbindungen in der Größe ihrer Moleküle. Wasser-Moleküle sind erheblich kleiner als Heptan-Moleküle. Ein etwa mit Wasser strukturell vergleichbar großes Alkan ist das **Methan**. Dieses ist bei Normalbedingungen im Unterschied zum flüssigen Wasser ein Gas. Vergleicht man die **Molaren Massen** der beiden Verbindungen miteinander,

so sieht man, dass ein Mol **Heptan** mit einer Molaren Masse von $100 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ um ein vielfaches (fast sechsmal) schwerer ist, als ein Mol des vergleichbaren **Wassers** mit $18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

LEHRER Unterrichtsgespräch

29

Leitfrage:

Welche Erklärung gibt es für den ähnlichen Siedepunkt beider Verbindungen?

Zwischen den Alkan-Molekülen herrschen schwache **van-der-Waals-Wechselwirkungen**, welche mit der Molekülgröße und steigender Oberfläche der Moleküle zunehmen. Zwischen den Wasser-Molekülen herrschen **Wasserstoffbrückenbindungen**, was den Schülern bereits aus der Sekundarstufe I bekannt ist. Man kann aus den Beobachtungen aus **Demonstration 7** schließen, dass die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den einzelnen Wasser-Molekülen um ein vielfaches **stärker** sein müssen, als die **van-der-Waals-Wechselwirkungen** zwischen den Heptan-Molekülen.

SCHÜLER Lernplattform 2 von 3

Wechselwirkungen zwischen organischen Molekülen

Zwischen den Alkan-Molekülen herrschen van-der-Waals-Wechselwirkungen. Es sind im Gegensatz zu Wasserstoffbrückenbindungen eher schwache Kräfte.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch**33****Versuch 6: Unpolarität von Alkanen****Zeitansatz: 5 Minuten****Durchführung:**

Ein halbgefülltes Becherglas mit Wasser wird auf den Labortisch gestellt. Dann gibt der Lehrer aus einem zweiten Becherglas eine etwas größere Menge an Heptan, welches vorher mit Sudanrot angefärbt wurde, in das mit Wasser gefüllte Becherglas.

Ergebnis:

Es bilden sich **zwei Phasenschichten**, welche man gut durch die unterschiedliche Färbung voneinander unterscheiden kann. Die **fehlende Polarität der Alkane** verhindert, dass sich Heptan in Wasser löst. Andere organische Verbindungen lösen sich hingegen sehr gut in Wasser, wie etwa das **polare Ethanol**, ein **Alkohol**.

LEHRER Unterrichtsgespräch**38**

Durch die geringe Elektronegativitäts-Differenz zwischen **Kohlenstoff** mit einer Elektronegativität (EN) von **2,5** und **Wasserstoff** mit einer Elektronegativität von **2,1** kommt es zwischen diesen Elementen innerhalb der Moleküle zur Ausbildung einer **schwachen Polarität**. Durch die sehr **symmetrische Struktur** der Alkane werden diese entstehenden Polaritäten zwischen Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen untereinander vollständig aufgehoben. Nach außen hin erscheinen Alkane deshalb **unpolar**. Man spricht von **Hydrophobie** („Wasserunfreundlichkeit“ – Gegenteil **Hydrophilie**). Alkane untereinander bilden homogene Gemische. Aufgrund der guten Löslichkeit anderer unpolarer Verbindungen in Alkanen, wie etwa den Fetten, spricht man auch von **Lipophilie der Alkane** („Fettfreundlichkeit“ – Gegenteil **Lipophobie**).

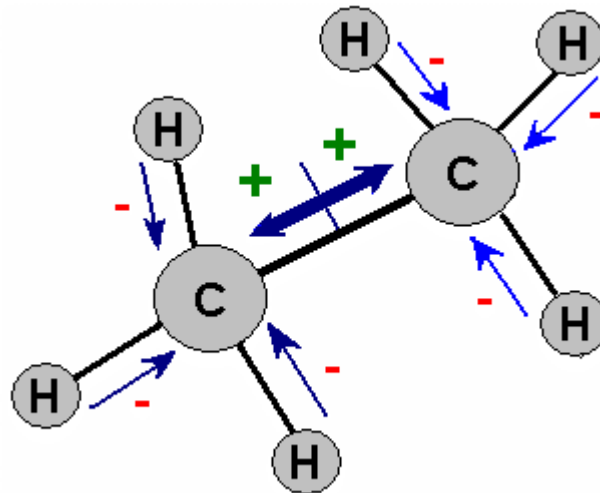


Bild 13.1: Die Aufhebung der Polaritäten im Ethan-Molekül

Auch andere im Labor oder in der chemischen Industrie verwendeten Lösungsmittel werden in die beiden Gruppen der polaren und unpolaren Verbindungen eingeteilt. Der Satz „*similis similibus solvuntur*“ oder „*Ähnliches löst sich in Ähnlichem*“ kann den Schülern hierbei als „Löslichkeitsregel“ eine große Hilfe sein. Die Unpolarität von Alkanen wächst dabei mit steigender Kettenlänge.

Alkane - unpolare Verbindungen

Die Elektronegativitätsunterschiede zwischen Kohlenstoff- (EN = 2,5) und Wasserstoffatomen (EN = 2,1) sind gering. Die sehr symmetrische Struktur von Alkanen hebt die dadurch entstehenden Dipolkräfte auf. Man bezeichnet Alkane als lipophile (und somit hydrophobe) Verbindungen. Sie lösen sich gut in unpolaren Lösungsmitteln („*Ähnliches löst sich in Ähnlichem*“). Die Unpolarität nimmt mit steigender Kettenlänge zu.

LEHRER Ausblick auf die nächste Stunde**45**

In der kommenden Stunde soll die quantitative Analyse organischer Verbindungen anhand einfacher Methoden, hier durch die **Bestimmung der Molaren Masse nach Avogadro**, eingeführt werden.

13.2 Didaktische und methodische Betrachtung der sechsten Stunde

Die Stunde beginnt wie immer mit einer kurzen Wiederholungsphase, in der zunächst noch einmal der Tetraederwinkel als solcher zur Diskussion stehen sollte. Anschließend wird die allgemeine Summenformel der Alkane, C_nH_{2n+2} , sowie die allgemein gültige **IUPAC-Nomenklatur** andiskutiert. Im Zuge dieser Phase sollten zur Vorbereitung auf den kommenden Unterrichtsstoff die grundlegenden **strukturellen Eigenschaften der Alkane** Erwähnung finden, da diese in einem folgenden Experiment verständlich gemacht werden sollen.

a) Die Erfahrbarkeit von physikalischen Eigenschaften der Alkane

Die Schüler sollen in einem Lehrer-Schüler-Versuch weitere physikalische Eigenschaften von Alkanen, wie z.B. **Geruch, Aussehen, Schmelzpunkt und Brennbarkeit**, an einfachsten Vertretern verschiedenster Aggregatzustände überprüfen. Hierzu eignet sich das **Methan als Bezugsstoff** und Vertreter der gasförmigen Alkane, da dieses den Schülern aus den letzten Stunden geläufig ist. Somit erreicht der Lehrer eine große Identifikation mit der Stoffchemie des Fachgebietes Organische Chemie, aufbauend auf vorherigen Überlegungen. Methan ist sozusagen als das **Bindeglied zwischen Chemie und Lerngruppe** zu betrachten, da der Lerngruppe diese Verbindung durch ständige Neubetrachtung der Stoffeigenschaften aus den verschiedensten Blickwinkeln immer vertrauter wird. Zusätzlich zum Methan, dessen Eigenschaften bereits bekannt sind, sollte je ein Vertreter aus den gasförmigen, flüssigen und festen Alkanen (jeweils bei Zimmertemperatur) näher betrachtet werden. Das farblose **Butan**, welches unter 0 °C in flüssigem Zustand vorliegt, die farblose, stark nach Petroleum riechende Verbindung **Heptan**, sowie das weiße, wachsartige **Eicosan** bieten sich hier aufgrund der geringen Giftigkeit zur näheren Betrachtung an. Es ist anzumerken, dass der Lehrer in der späteren **Demonstration 7** nochmals auf das **Heptan** zu sprechen kommt. Deshalb ist anzuraten, Heptan als Vertreter flüssiger Alkane zu wählen. Durch Einsatz verschiedenster Hilfsmittel wie dem *Optophon*TM bzw. dem *ColorTest*TM für blinde Schüler, sowie dem **Kamera-System mit Großbildübertragung** für sehbehinderte Schüler, wird der gemischten Lerngruppe die Beobachtung erleichtert. Blinde Schüler können bei der Durchführung des Versuches die Überprüfung des Geruches der einzelnen Verbindungen übernehmen. Die sehbehinderten Schüler können die Verbindungen auf Aussehen untersuchen. Dabei schafft der Lehrer während der Durchführung ein **ausgewogenes**

Abhängigkeitsverhältnis und integriert beide Gruppen gleichermaßen stark in die Erarbeitung des Stoffes (**vgl. auch Kapitel 8.1 Der Unterrichtsentwurf der zweiten Stunde**). Den Schülern wird bei Überprüfung der Alkan-Beispiele schnell klar, dass sowohl gasförmige, als auch flüssige und sogar feste Alkane bekannt sind und die Aggregatzustände bei Zimmertemperatur sich schon bei geringer Kettenverlängerung von gasförmig, über flüssig, nach fest verschieben kann. Hierbei sollte auch wieder die Verbrennung der Alkane zu Kohlenstoff und Kohlenstoffoxiden im Blickpunkt stehen. Mit ansteigender Kettenlänge verbrennen die Alkane zunehmend unvollständig zu Kohlenstoffdioxid. Es bildet sich bei Verbrennung langkettiger Alkane immer mehr Kohlenstoff, was man an einer rauchenden Flamme erkennen kann. Als Lernplattform sollten die allgemeinen Unterschiede in den Aggregatzuständen der Alkane notiert werden (**vgl. Lernplattform 1 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

b) Wechselwirkungen zwischen organischen Verbindungen

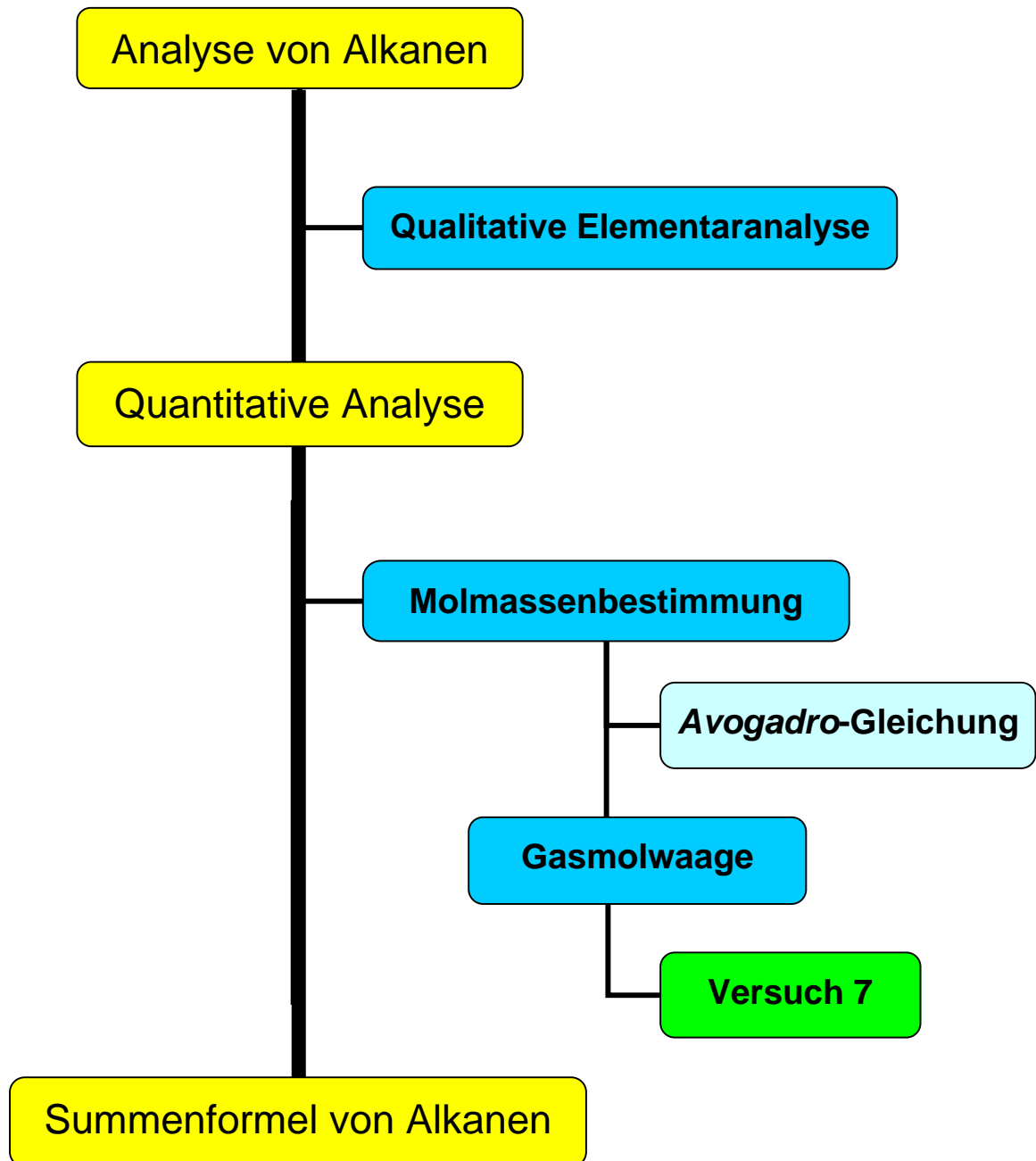
Im folgenden Unterricht werden die Gründe für die im Experiment beobachteten Siedepunktunterschiede zwischen den einzelnen Alkanen näher beleuchtet. Um die Lerngruppe anzuleiten, sollte vom Lehrer die Frage im Plenum aufgeworfen werden, worauf die Tatsache beruht, dass sich der Aggregatzustand der Alkane bei zunehmender Größe der Alkan-Moleküle von gasförmig nach fest verschiebt. Zur Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen den Alkan-Molekülen dient hier eine weitere Demonstration. In einem der Demonstration zu Grunde liegenden Gedankenexperiment soll mit Hilfe der ausgeteilten Tabelle der Homologen Reihe der Alkane aus der letzten Stunde der Siedepunkt des **Heptans** mit dem Siedepunkt einer bekannten Flüssigkeit, dem des **Wassers**, verglichen werden. Die geeignete Wahl an Hilfsmitteln, welche die einzelnen Stärken der zwischenmolekularen Kräfte symbolisieren, bringen sehbehinderte, sowie blinde Schüler schnell darauf, dass sich zwischen Wasser-Molekülen andere **stärkere** Kräfte ausbilden müssen, als zwischen den einzelnen Heptan-Molekülen. Von der strukturellen Gestalt der Verbindungen soll durch Einsatz des Molekülbaukastens auf die differenzierbaren Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Molekülen beider Stoffe auf die Siedepunktähnlichkeit geschlossen werden. Aus der Sekundarstufe I sollte die **Dipoleigenschaft** von Wasser bereits bekannt sein und auch **Wasserstoffbrückenbindungen** als zwischenmolekulare Kräfte sollten den Schülern geläufig sein. Aus der zweiten Stunde der Einführung der Organischen Chemie ist bereits die **Reaktionsträgheit der C-H-Bindung**

bekannt. Zudem wurden einige Betrachtungen zur Elektronegativitäts-Differenz zwischen C-C-Bindungen bzw. C-H-Bindungen im Vergleich mit dem Wasser-Molekül in derselben Stunde durchgeführt. Zusätzlich sollten im Zuge dieser Stillarbeitsphase die Unterschiede in den Molaren Massen ($100 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ bei Heptan und $18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ bei Wasser) erwähnt werden, um so einen Bezug zur Stärke von Wasserstoffbrückenbindungen im Gegensatz zu den eher schwachen **van-der-Waals-Wechselwirkungen** zu bekommen. Am Ende der etwa zehnminütigen Stillarbeitsphase, werden die erlangten Ergebnisse im Unterrichtsgespräch gesammelt und in einer weiteren Lernplattform konzentriert gesichert (**vgl. Lernplattform 2 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Gegen Ende der Stunde geht der Lehrer nochmals auf die **Unpolarität der Alkane** im Vergleich zum polaren Wasser ein. Durch einen weiteren Demonstrationsversuch (**vgl. Demonstration 7 in Anhang 21.11**) zeigt der Lehrer hier über den Großbildschirm die Zwei-Phasen-Bildung von Heptan in Wasser. Zur besseren Sichtbarkeit sollte Heptan mit einem deutlichen Farbstoff, etwa den roten Sudanrot B, eingefärbt werden. Der Nachteil bei diesem Versuch liegt natürlich auf der Hand. Blinde Schüler sind auf die Beobachtungen ihrer sehbehinderten Mitschüler angewiesen. Dennoch sollte dieser Versuch zum besseren Verständnis durchgeführt werden, da er auf einfachste Weise wichtige Erkenntnisse vor allem für sehbehinderte Schüler einbringt. Der Lehrer sollte die Erkenntnisse des Versuches durch eine weitere Diskussionsphase über die Elektronegativitäts-Unterschiede zwischen den C-H- bzw. C-C-Bindungen für die gesamte gemischte Lerngruppe transparent machen. Diese sind bereits in der zweiten Stunde angesprochen worden, sodass die Besprechung für die Schüler eine Wiederholung darstellt und somit bereits bekannten Unterrichtsstoff nochmals festigt. Der Einsatz eines Molekülmodells von Methan oder Ethan kann die gegenseitige Aufhebung der Dipol-Ladungen vor allen Dingen für die blinden, aber auch für die sehbehinderten Schüler, verdeutlichen. Ein allseits beliebter Hilfssatz, welcher auch oft in Schulbüchern zu finden ist, kann für die kommende Klausur und zur besseren Greifbarkeit dieser wichtigen Eigenschaft den Schülern an die Hand gegeben werden. „**Similis similibus solvuntur**“, ein lateinischer Ausdruck dafür, dass sich „**Ähnliches in Ähnlichem löst**“. Neue Begriffe wie **Hydrophobie** und **Hydrophilie**, sowie die Erkenntnisse des Demonstrationsversuches sollen nach dieser Phase des Unterrichtsgesprächs in einer weiteren Lernplattform gesichert

werden (**vgl. Lernplattform 3 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Ein kurzer Ausblick auf nächste Stunde verspricht den Schülern die Einführung in die **quantitativen Analysemethoden** der Organischen Chemie am Beispiel der **Bestimmung der Molaren Masse nach Avogadro**.

14 Siebte Stunde: Quantitative Analyse - Die Gasmolwaage**Der Fahrplan für die siebte Stunde**

14.1 Der Unterrichtsentwurf der siebten Stunde

Zeit**SCHÜLER** Wiederholungsphase**0****Zeitansatz:** 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- Wechselwirkungen zwischen Alkan-Molekülen
- Unpolarität und Reaktionsträgheit der Alkane

LEHRER Unterrichtsgespräch**3**

Um eine organische Verbindung im Gegensatz zu den vorher erwähnten **qualitativen Analysemethoden** auch **quantitativ zu analysieren**, d.h. sie auf ihre **Zusammensetzung** und **Proportionen** hin zu prüfen, bedarf es spezieller Analysemethoden. Eine Methode ist die quantitative **Bestimmung der Molaren Masse** einer gasförmigen Verbindung (vgl. **Versuch 6 in Anhang 21.7**). Dies kann zum einen durch Wägung eines bestimmten Volumens des Gases auf einer einfachen Digitalwaage und Berechnung der daraus resultierenden Molaren Masse geschehen. Eine weitere eindrucksvollere und nicht so komplizierte Methode ist die Bestimmung der Molaren Masse mit Hilfe der **Gasmolwaage nach Kinttof und Wagner**. Diese Bestimmungsmethode basiert auf demselben Prinzip wie die Wägung, bedeutet aber vor allem für blinde Schüler eine bessere Handhabbarkeit. Hierbei wird die Molare Masse des zu bestimmenden Gases mit Hilfe eines Dichte-Vergleichs gegenüber einer bereits bekannten Vergleichsprobe durch einfaches Ablesen ermittelt.

Analysemethoden in der Organischen Chemie

Neben den verschiedenen **qualitativen** Analysemethoden, welche organische Verbindungen auf ihre Bestandteile hin untersuchen, gibt es **quantitative** Analysemethoden, welche organische Verbindungen auf die Proportionalitäten der einzelnen Bestandteile zueinander untersuchen. Eine einfache quantitative Analysemethode ist die **Bestimmung der Molaren Masse** einer gasförmigen Verbindung mit Hilfe der Gasmolwaage.

LEHRER informativer Lehrervortrag

8

Bereits im Jahre 1811 veröffentlichte der italienische Physiker und Chemiker *Amadeo Carlo Avogadro* seine berühmte Schrift über den "*Versuch einer Methode, die relativen Massen der Elementarmoleküle der Stoffe aus dem Verhältnis, in dem sie in Verbindung eintreten, zu bestimmen*".



Bild 14.1: Amadeo Carlo Avogadro (1776 - 1856)

In dieser Arbeit stellt *Avogadro* die Hypothese auf, dass **gleiche Gasvolumina bei gleicher Temperatur und gleichem Druck die gleiche Anzahl von Teilchen enthalten** müssen. Dabei konkretisierte er die alte Hypothese des französischen Chemikers *Gay-Lussac* Anfang des 19. Jahrhunderts. *Gay-Lussac* fand heraus, dass das Volumen eines Gases proportional zur vorhandenen Temperatur und reziprok proportional zum vorhandenen Druck des Systems zunimmt. Folgende Grafik verdeutlicht dieses:

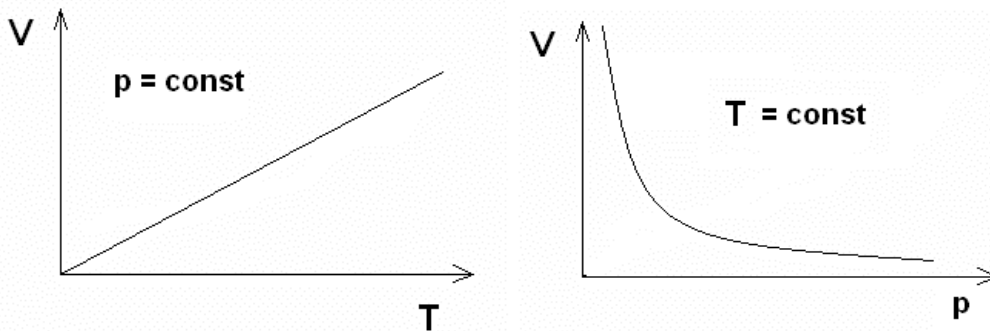


Bild 14.2: Abhängigkeitsdiagramme von Druck, Temperatur und Volumen

Bei einem Druck von 1 bar und einer Temperatur von 0 °C, also bei **Normbedingungen**, haben demnach alle („idealen“) Gase das gleiche **Molvolumen** $V_m = 22,4 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$. Es ergibt sich folgende Gleichung:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Die Indizes geben dabei die jeweiligen Größen für Temperatur und Druck, sowie das zugehörige Volumen bei den gewählten Bedingungen an. Bei **Standardbedingungen**, also einem Druck von 1 bar und einer Temperatur von 25 °C, liegt das Molvolumen eines Gases bei etwa $24,5 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$. Mit Hilfe zweier Gleichungen kann man dann die Molare Masse aus der Massendifferenz zwischen gleichen Volumina der gasförmigen organischen Verbindung gegenüber Luft ermitteln:

$$n(\text{Gas}) = \frac{V(\text{Gas})}{V_m} \quad (1)$$

$$M(\text{Gas}) = \frac{m(\text{Gas})}{n(\text{Gas})} \quad (2)$$

Die Messung einer Gaswägekugel auf der Digitalwaage ergibt dabei eine Massendifferenz zur Luftmasse gleichen Volumens, sodass zur erhaltenen **Massendifferenz x** noch **1,2 g**, also die Masse von einem Liter Luft bei Standardbedingungen hinzugerechnet werden muss. Für die **Masse der unbekanntem gasförmigen Verbindung m(Gas)** wird dann die erhaltene Summe aus Massendifferenz und Masse der Luft eingesetzt. Es können natürlich auch Gase mit geringerer Molare Masse als Luft bestimmt werden. Hierbei wird sich eine negative Massendifferenz einstellen, die man aber genauso in die obigen Gleichungen einsetzen kann.

Die Avogadro'sche Hypothese

Gleiche Volumina verschiedener Gase enthalten bei gleichem Druck und gleicher Temperatur die gleiche Anzahl von Teilchen. Anders gesagt haben alle („idealen“) Gase bei einem Druck 1013 hPa und 25 °C (Standardbedingungen) das gleiche Molvolumen von etwa 24,5 $\frac{\text{L}}{\text{mol}}$. Die Molare Masse M(Gas) einer unbekanntem gasförmigen Verbindung kann mit Hilfe folgender Gleichung berechnet werden:

$$M(\text{Gas}) = \frac{m(\text{Gas})}{V(\text{Gas})} \cdot V_m$$

LEHRER informativer Lehrervortrag**18**

Leichter als die Ermittlung der Molaren Masse über die Wägung auf einer Digitalwaage ist die Bestimmung mit Hilfe der Gasmolwaage.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch**Versuch 7: Bestimmung der Molaren Masse mit Hilfe der Gasmolwaage****Zeitansatz: 25 Minuten****Versuchsdurchführung:**

Die Molare Masse eines unbekanntes gasförmigen Alkans wird mit Hilfe der **Gasmolwaage** über die Bestimmung der **Massendifferenz** zwischen dem zu analysierenden und einem bekannten Gas gleicher Volumina ermittelt. Danach vergleicht man das erhaltene Ergebnis mit dem theoretischen Wert für die Molare Masse des Alkans. In einem zweiten Versuch wird die Molare Masse eines bekannten gasförmigen Alkans auf die gleiche Weise bestimmt. Man vergleicht auch dieses Ergebnis mit dem theoretischen Wert.

Ergebnis:

Beim ersten unbekanntes Gas handelt es sich um **Methan**, da der ermittelte Wert für die Molare Masse mit dem theoretischen Wert fast genau übereinstimmt ($18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ gegenüber $16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$). Im zweiten Durchgang wurde die Molare Masse von **Butan** auf die gleiche Weise ermittelt. Das Ergebnis stimmt auch hier fast genau überein ($56 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ gegenüber $58 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$).

LEHRER informativer Lehrervortrag

Die Gasmolwaage erleichtert die Bestimmung der Molaren Masse im Vergleich zu den klassischen Methoden, da hier die Messung der Massendifferenz durch die Bestimmung des Auftriebunterschieds zweier Gase im Vergleich zur luftgefüllten Glaskugel erfolgt. Das Ergebnis kann dabei einfach auf der Skala der Gasmolwaage abgelesen werden. Man erhält dadurch die Molare Masse eines unbekanntes Gases ganz ohne mathematische Berechnungen.

Der Einsatz der Gasmolwaage ist eine wirklich zuverlässige Methode zur Bestimmung gasförmiger Verbindungen. Jedoch Man sollte jedoch vor der quantitativen Analyse immer **Vorproben** in Form qualitativer Analysen vorschalten. Zur Verdeutlichung seien die gasförmigen Verbindungen **Methan** und **Ammoniak** zu nennen, deren Molaren Massen mit $18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ bzw. $17 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ sich nicht wirklich unterscheiden und man somit nach Bestimmung über die **Avogadro-Gleichung** beide Gase in der Analysenprobe vermuten könnte. Eine vorgeschaltete negative qualitative Analyse auf Kohlenstoff (vgl. **Versuch 1 in Anhang 21.2**) könnte bei vorliegendem Ammoniak-Gas das daneben vermutete Methan ausschließen. Daher sei an dieser Stelle erwähnt, dass man **qualitative und quantitative Analysen** immer im Einklang miteinander wirken lassen sollte.

Die Analyse organischer Verbindungen**qualitative Elementaranalyse** **C_xH_y** **Bestimmung der Molaren Masse (Avogadro)** **C_4H_{10} (Summenformel)**

Quantitative Analysemethoden sind nur so gut wie ihre qualitativen Vorproben es zulassen.

In der kommenden Stunde wird eine weitere **quantitative Analysemethode** besprochen, mit der es möglich wird, verschiedene unbekannte gasförmige Alkane, wie auch leicht verdampfbare flüssige oder auch feste Alkanproben zu analysieren.

14.2 Didaktische und methodische Betrachtung der siebten Stunde

In der Wiederholungsphase am Stundenanfang prüft der Lehrer zunächst den Wissensstand der Schüler, indem er nochmals auf die **Wechselwirkungen zwischen den Alkan-Molekülen** eingeht, sowie die Gründe für die **Unpolarität und Reaktivität der Alkane** im Plenum diskutieren sollte. Dadurch sichert der Lehrer nach der Betrachtung vieler wichtiger physikalischer Eigenschaften der beiden letzten Stunden wichtige Grundlagen in Hinblick auf eine kommende Klausur und kann dann im folgenden Unterricht mit der Besprechung quantitativer Analysemethoden fortfahren.

a) Wiederholung stöchiometrischer Grundlagen

Im Vergleich zu den in den vorhergehenden Stunden erwähnten **qualitativen Analysemethoden**, soll nun die Einführung in die **Quantitative Analyse** auf **Zusammensetzung** und **Proportionen** organischer Verbindungen vollzogen werden. Dabei ist es ratsam der gemischten Lerngruppe einige Methoden an die Hand zu geben. Eine Methode ist die quantitative **Bestimmung der Molaren Masse** einer gasförmigen Verbindung (**vgl. Versuch 7 in Anhang 21.8**). Hierbei wird die Molare Masse des zu bestimmenden Gases mit Hilfe eines **Molmassen-Vergleichs** gegenüber einer bereits bekannten Vergleichsprobe, durch einfaches Ablesen über die Gasmolwaage ermittelt. Zur Absicherung der Unterscheidung von qualitativer und quantitativer Analyse sollte bereits an dieser Stelle eine Lernplattform erstellt werden, in der beide Analyseformen im Vergleich stehen. Als Beispiel für die quantitative Analyse organischer Verbindungen wird hier auch die Bestimmung der Molaren Masse nach **Avogadro** genannt (**vgl. Lernplattform 1 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Im Anschluss daran kann der Lehrer einen kurzen Abstecher in die **Historie** der Organischen Chemie machen, um die geschichtliche Entwicklung quantitativer Analysemethoden aufzuzeigen. Im vorliegenden Unterrichtsentwurf wird die Geschichte der Bestimmung der Molaren Masse mit Hilfe der **Avogadro-Gleichung** und dessen Erfinder kurz angerissen, um den Schülern die großen Entwicklungen in der Organischen Chemie näher zu bringen. Einiges aus der Historie kennen die Schüler bereits aus der ersten Stunde, wo die Geschichte von **Wöhler** und **Berzelius** anhand eines kurzen **Chemie-Hörspiels** durchgenommen wurde. Anknüpfend daran kann nun

die geschichtliche Entwicklung der Molmassen-Bestimmung erzählt werden, entweder wieder in einer Geschichtsform oder in einfacher Vortragsweise seitens des Lehrers. Man geht dazu kurz auf die Entwicklung dieser Bestimmungsform ein und leitet dann sofort über auf die von *Avogadro* postulierte Hypothese, dass **gleiche Gasvolumina bei gleicher Temperatur und gleichem Druck die gleiche Anzahl von Teilchen enthalten**. Im folgenden Unterrichtsgespräch werden dann die aus dieser Hypothese abgeleiteten Proportionalitäten in einen geeigneten Formel­ausdruck übersetzt. Indem man den nun formulierten Ausdruck für die *Avogadro-Hypothese* der historisch gebildeten und allgemein seit Jahren gültigen *Avogadro-Gleichung* gegenüberstellt, kann man als Lehrer den Erfolg dieser entwickelnden Kreativphase für die Schüler unterstreichen. Das stärkt die Gruppengemeinschaft, da hier eine gemeinsame aus allen Köpfen zusammengetragene Leistung innerhalb der gesamten Lerngruppe geschaffen wird, was für den folgenden Unterricht motivierend wirken kann. Des Weiteren können die zwei im Unterrichtsentwurf angeführten Diagramme nochmals für sehbehinderte Schüler diese Proportionalitäten etwa in Form einer grafischen Datei am PC darstellen. Blinden Schülern können diese Diagramme beschrieben oder als taktile Grafik ausgeteilt werden. Darauf folgend leitet der Lehrer in einem Unterrichtsgespräch auf den kommenden Versuch über, indem er zunächst die theoretische Bestimmung der Molaren Masse aus mathematischer Sichtweise anhand zweier Gleichungen vorstellt. Bei gleichen Volumina kann man so die Massendifferenz zwischen einer unbekannt­ten und einer bekannten gasförmigen Verbindung und somit rechnerisch die Molare Masse der unbekannt­ten Verbindung ermitteln. Der Lehrer sollte im Zuge auch auf das Problem der Ermittlung der Massendifferenz spezifisch leichter­er Gase gegenüber dem bekannten Referenz-Gas, wie z.B. Sauerstoff-Gas oder Luft, eingehen, bei dem die ermittelte Massendifferenz einfach ein negatives Vorzeichen bekommt. Die Bestimmung der Masse des Gases gleicht dieses Problem jedoch sofort wieder aus, wie man aus den Berechnungen zum **Versuch 7 des Unterrichtsentwurfs** entnehmen kann. Nach der Aufstellung dieser Formeln sollten die gemachten Erkenntnisse in einer Lernplattform festgehalten werden (vgl. **Lernplattform 2 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

b) Die Gasmolwaage - Molmassenbestimmung ohne Mathematik?

Der folgende Versuch zur Bestimmung der Molaren Masse gasförmiger Verbindungen, hier sind die schon aus Vorversuchen bekannten Verbindungen **Methan** und **Butan** zu bestimmen, demonstriert dann die erste Form eines quantitativen Analyse-

versuches in der Organischen Chemie mit Hilfe der **Gasmolwaage**. Dieses Verfahren besitzt durch seine Einfachheit der Bestimmung und dem daraus resultierenden Vorteil ohne Rechnungen auszukommen vor allem für blinde Schüler eine bessere Handhabbarkeit, als das Ablesen der Masse eines bestimmten Volumenanteils zweier Gase auf der Digitalwaage mit nachfolgender Berechnung. Eine Vorrichtung speziell für blinde Schüler, basierend auf der **Braille-Schrift**, bietet hier zudem weitere Vorteile gegenüber der einfachen Wägung auf einer nur optisch ablesbaren Digitalwaage. Die einfache Bestimmung mittels einer sprechenden Digitalwaage wird an anderer Stelle weiter hinten im Unterrichtsentwurf ihren Einsatz finden (**vgl. Versuch 10 in Anhang 21.11**).

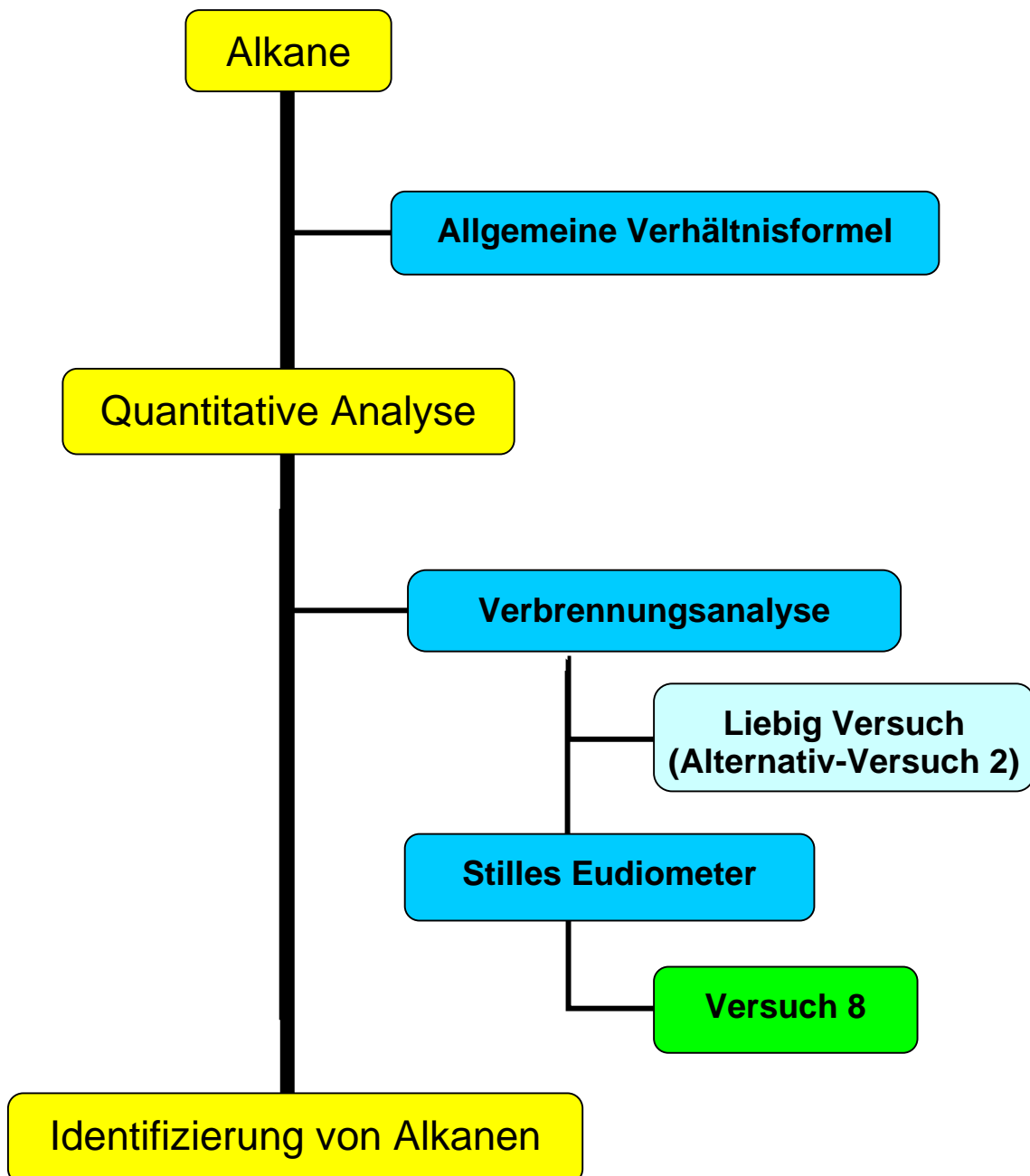
Das Experiment an sich sollte in einem Hand-in-Hand-Prozess des Lehrers mit der gesamten Lerngruppe geschehen. Zunächst muss der Lehrer die gemischte Lerngruppe in die Funktionsweise der Gasmolwaage einführen und versuchen, wirklich allen Mitgliedern den Aufbau so gut es geht erfahrbar zu machen. Dabei ist es gerade für die blinden Schüler sehr wichtig, den Aufbau großer Apparaturen bis ins kleinste Detail zu studieren, um nicht in eine nachteilige Situation gegenüber ihren sehenden Mitschülern zu kommen. Je nach Gruppengröße und individuellem Vorstellungsvermögen des einzelnen Gruppenmitglieds muss der Lehrer während dieser Phase mit einer mindestens zehnmütiger Einführung in die Funktionsweise rechnen. Dieses macht sich jedoch später sehr bezahlt, da die Arbeit mit der Gasmolwaage viele chemische Grundlagen in sich vereint, ohne diese wirklich auf formelgestütztem Weg zu offenbaren. Die Schüler werden von der Anwendung chemischer Stöchiometrie gänzlich verschont und müssen nur den groben Zusammenhang zwischen den physikalischen Proportionalitäten wie Druck, Temperatur und Volumen verstehen (**vgl. auch Versuch 7 in Anhang 21.8**). Ein weiterer Vorteil des Einsatzes der Gasmolwaage im Unterricht ist die sehr geringe Gefährlichkeit des Experimentes zur Bestimmung der Molaren Masse. Sehbehinderte wie blinde Schüler können bei diesem Versuch aktiv bei der Durchführung assistieren und dem Lehrer etwa beim Ablesen der Werte oder beim Einfüllen der Gase zur Hand gehen. So integriert man ein Stück „Entdeckendes Lernen“ in diese Experimentierphase, was der gemischten Lerngruppe hilft, die erhaltenen Ergebnisse besser zu verinnerlichen. Nach der Durchführung vergleichen die Schüler die beobachteten Ergebnisse mit den theoretischen Werten für die Molaren Massen der zu bestimmenden Alkane. Die Schüler bekommen durch das Experiment selbstständig heraus, dass es sich bei dem unbekanntem Gas um Methan handeln muss. Der Vergleich der praktisch ermittelten Molaren Masse des

bereits bekannten Butans ist deshalb anzuraten, um den Schüler die Richtigkeit, sowie auch die Genauigkeit dieser quantitativen Bestimmungsmethode zu verdeutlichen. Eine zweite Lernplattform an dieser Stelle soll den Schülern den Unterschied zwischen den, aus den vorhergehenden Stunden zu genüge angewandten, qualitativen Analysemethoden und der neu erlernten quantitativen Analysemethode in kurzen Sätzen beschreiben (**vgl. Lernplattform 2 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

c) Das Zusammenspiel von qualitativer und quantitativer Analyse

Im Anschluss an diese Sicherungsphase zeigt der Lehrer kurz die Wichtigkeit des Zusammenspiels von qualitativen und quantitativen Analysemethoden auf. Dies kann anhand eines kleinen Beispiels bekannter gasförmiger Verbindungen geschehen, welche sich in ihren Molaren Massen nur unwesentlich unterscheiden. Ein Beispiel wäre hier der Vergleich von organischem **Methan** und anorganischem **Ammoniak-Gas**, welches den Schülern spätestens seit der **Wöhlerschen Harnstoffsynthese** bekannt sein sollte. Aufgrund der sehr geringen Unterschiede in den Molaren Massen, Methan mit $18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ bzw. Ammoniak-Gas mit $17 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$, wird so vom Lehrer die **Wichtigkeit qualitativer Vorproben** unterstrichen. Ein kleines Schaubild fasst die erlangten Ergebnisse nochmals zusammen. Dabei kann das Schaubild per Datei auf dem PC für blinde und als Handreichung für sehbehinderte Schüler ausgeteilt werden. In einer letzten kurzen Lernplattform wird die Abhängigkeit beider Analyseformen gesichert (**vgl. Lernplattform 3 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Die Stunde endet mit einem kurzen Ausblick auf die kommende Stunde, in der eine weitere wichtige quantitative Analysemethode, die „**Verbrennungsanalyse**“ nach **Liebig** und **Lavoisier** angekündigt wird.

15 Achte Stunde: Die Verbrennungsanalyse mal anders**Der Fahrplan für die achte Stunde**

15.1 Der Unterrichtsentwurf der achten Stunde

Zeit**SCHÜLER** (Wiederholungsphase)**0****Zeitansatz:** 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- **Quantitative Analysemethoden in der Organischen Chemie**
- **Bestimmung der Molaren Masse mit Hilfe der Gasmolwaage**
- **Avogadro-Gleichung**

LEHRER informativer Lehrervortrag**3**

Eine weitere einfache quantitative Analysenmethode in der Organischen Chemie basiert auf der von dem französischen Anorganiker *Lavoisier* im 18. Jahrhundert entwickelten Methode der „Verbrennungsanalyse“, welche im 19. Jahrhundert von einem der größten deutschen Chemiker, *Justus von Liebig*, nochmals verbessert wurde und als eine der wichtigsten quantitativen Analysenmethoden in der Organischen Schulchemie gilt.



Bild 15.1: Justus von Liebig (1803 - 1873)

Hierbei kann man mit Hilfe der **qualitativen Zusammensetzung** einer Verbindung und den **Atommassenzahlen** der im zu analysierenden Molekül beteiligten Elemente schnell und einfach die **Summenformel** eines Moleküls durch quantitative Verbrennung mit Luftsauerstoff bestimmen. Dabei können, wie bei der **Molmassenbestimmung mit Hilfe der Gasmolwaage**, gasförmige Verbindungen, aber auch **flüssige und feste Verbindungen** untersucht werden.

SCHÜLER Lernplattform 1 von 2

7

Die quantitative Verbrennungsanalyse

Neben der Bestimmung der Molaren Masse nach *Avogadro* existieren weitere quantitative Analysemethoden, welche organische Verbindungen auf die Proportionalitäten der einzelnen Bestandteile zueinander untersucht. Die quantitative „**Verbrennungsanalyse**“ von *Justus von Liebig* aus dem 19. Jahrhundert, ermittelt die Summenformel einer unbekannt organischen Verbindung in allen Aggregatzuständen.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch

10

Versuch 8: Quantitative Verbrennung von Methan und Butan im „Stillen Eudiometer“

Zeitansatz: 25 Minuten

Leitfrage:

Wie kann man die Summenformel eines unbekannt Alkans experimentell bestimmen?

Versuchsdurchführung:

Im ersten Teil des Versuches wird ein **Stilles Eudiometer** mit einem Gemisch aus 10 mL **Methan** und 10 mL **Sauerstoff** beschickt. Dann verbrennt man das Gemisch mit Hilfe des Eudiometers und fängt das entstehende Gas zur Bestimmung seines Volumens mit dem Eudiometer-Kolbenprober auf. Im zweiten Teil des Versuches wird nach gleichem Verfahren 10 mL **Butan** mit 10 mL **Sauerstoff** zur stillen Reaktion gebracht.

Ergebnis:

Man erhält im ersten Teil des Versuches bei der stillen Verbrennung von Methan mit Sauerstoff 10 mL Kohlenstoffdioxid. Im zweiten Fall entsteht bei der stillen Verbrennung von Butan mit Sauerstoff 40 mL Kohlenstoffdioxid. Die bei der Reaktion entstehenden Wasserspuren sind so gering, dass sie das Messergebnis nicht beeinflussen. Bestimmt man den Quotienten aus

$$\text{Volumen}(\text{CO}_2) : \text{Volumen} (\text{Alkan}),$$

so kann man die Kohlenstoffanzahl beider Alkan-Moleküle bestimmen. Das **Methan-Molekül** besitzt demnach $10 \text{ mL} : 10 \text{ mL} = 1$ Kohlenstoffatom (**Summenformel CH₄**), das **Butan-Molekül** hingegen $40 \text{ mL} : 10 \text{ mL} = 4$ Kohlenstoffatome (**C₄H₁₀**).

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch - *alternativer Ansatz*

Alternativ-Versuch 2: **Quantitative Verbrennung von Methan und Butan**
 Klassische Methode nach *Liebig* und *Lavoisier*

Zeitansatz: 35 Minuten

Leitfrage:

Wie kann man die Summenformel eines unbekanntes Alkans experimentell bestimmen?

Versuchsdurchführung:

Ein Quarzrohr wird mit gekörntem **Kupfer(II)-oxid** befüllt und an beiden Enden mit je einem Stück Glaswolle verschlossen. Der linke Kolbenprober wird über einen Dreiwegehahn mit 20 mL **Methan** gefüllt. Dann erhitzt man das im Quarzrohr enthaltene Kupfer(II)-oxid bis zur Rotglut und leitet durch Hin- und Herschieben der Kolben mehrmals das Methan über das glühende Kupfer(II)-oxid, bis sich im rechten Kolbenprober eine **Volumenkonstanz** einstellt. Nach Abkühlen der gesamten Apparatur wird das **Gasvolumen** abgelesen und als Wert notiert. Der gleiche Versuch wird mit 20 mL **Butan** wiederholt. Man notiert auch hier nach Abkühlen der Apparatur das Gasvolumen und vergleicht mit dem Wert für Methan.

Ergebnis:

Man erhält im ersten Teil des Versuches bei der Verbrennung von Methan mit Kupfer(II)-oxid 20 mL Kohlenstoffdioxid. Im zweiten Fall entsteht bei der Verbrennung von Butan mit Kupfer(II)-oxid 80 mL Kohlenstoffdioxid. Das Volumen des kondensierten Wassers, welches nach dem Abkühlen im Quarzrohr zu beobachten ist, kann bei der Rechnung vernachlässigt werden. Bestimmt man den Quotienten aus

$$\text{Volumen}(\text{CO}_2) : \text{Volumen} (\text{Alkan}),$$

so kann man die Kohlenstoffanzahl beider Alkan-Moleküle bestimmen. Das **Methan-Molekül** besitzt demnach $20 \text{ mL} : 20 \text{ mL} = 1$ Kohlenstoffatom (**Summenformel** CH_4), das **Butan-Molekül** hingegen $80 \text{ mL} : 20 \text{ mL} = 4$ Kohlenstoffatome (C_4H_{10}).

Mit Hilfe der **quantitativen Verbrennung von Alkanen im Stillen Eudiometer** kann also die **Summenformel** dieser auf einfachste und sauberste Art experimentell ermittelt werden. Dieses Verfahren funktioniert sehr gut mit **niederen gasförmigen Alkanen**. Langkettige Alkanen liefern bei gleich bleibendem Sauerstoffangebot als Reaktionsprodukt zunehmend elementaren Kohlenstoff. Man erhält hier rußende und durch die entstehenden Rußpartikel aufleuchtende Flammen. Die Verbrennung der **langkettigen Alkane** verläuft somit **zunehmend unvollständiger**.

Die quantitative Verbrennungsanalyse

Ein bestimmtes Volumen eines Alkans wird mit reinem Sauerstoff zur Reaktion gebracht. Bestimmt man nun das Volumen des bei der Reaktion entstandenen Kohlenstoffdioxid-Gases, kann man die Kohlenstoffanzahl im Alkan-Molekül als Quotient aus

$$\text{Volumen}(\text{CO}_2) : \text{Volumen} (\text{Alkan})$$

ermitteln.

In der nächsten Stunde wird eine Methode zur Stofftrennung organischer Gemische mit Hilfe spezieller Lösungsmittel, die sogenannte Chromatographie, näher betrachtet.

15.2 Didaktische und methodische Betrachtung der achten Stunde

Die Stunde beginnt ritualbildend wieder mit einer kurzen Wiederholungsphase, in der die Einführung der quantitativen Analysemethoden revuepassiert wird. Am Beispiel der Bestimmung der Molaren Masse von Methan mit Hilfe der **Gasmolwaage** wurde in der siebten Stunde die erste einfache Form dieser Bestimmungsmethoden durch einen Versuch eingeführt. Die Schüler lernten zunächst die theoretischen Hintergründe der Molmassenbestimmung durch Berechnung über die **Avogadro-Gleichung** kennen. Danach wurde die gemischte Lerngruppe mit der Funktionsweise der **Gasmolwaage** intensiv vertraut gemacht, sodass die Molare Masse einer unbekanntem gasförmigen Verbindung ohne größere Berechnungen ermittelt werden konnte.

a) Die klassische Verbrennungsanalyse nach *Liebig* und *Lavoisier*

In dieser Stunde wird nun eine weitere quantitative Bestimmungsmethode, die „**Verbrennungsanalyse**“, näher betrachtet. Im informativen Lehrervortrag führt der Lehrer in historisch entwickelnder Weise diese Methode im Unterricht ein. Dabei wird in der Entwicklung dieser Methode im Laufe des 19. Jahrhunderts einer der größten deutschen Chemiker dieser Zeit, **Justus von Liebig**, als Namensgeber genannt. Er adaptierte die Methode der quantitativen Analyse von chemischen Verbindungen durch Verbrennung, von der ehemals für den anorganischen Bereich eingesetzten Methodik (**Lavoisier** im 18. Jahrhundert), für die Organische Chemie. Diese geschichtliche Betrachtung kann nahtlos in den bereits bekannten historischen Rahmen der Organischen Chemie integriert werden, da **Liebig** fast Hand in Hand mit den bereits erwähnten **Wöhler** und **Berzelius** zusammenarbeitete. Die quantitative Verbrennungsanalyse, wie sie in vielen Schulbüchern bezeichnet wird, kann mit Hilfe der **qualitativen Zusammensetzung** einer Verbindung und den **Atommassenzahlen** der im zu analysierenden Molekül beteiligten Elemente schnell und einfach die **Summenformel** eines Moleküls durch quantitative Verbrennung mit Luftsauerstoff liefern. Anders als bei der Molmassenbestimmung gasförmiger Verbindungen aus der vorhergehenden Stunde, kann man nun auch Substanzen analysieren, welche sich in einem flüssigen oder festen Aggregatzustand befinden. Eine erste Lernplattform sichert nach diesem kurzen Vortrag den vom Lehrer konstruierten Standpunkt und die Qualitäten dieser neuen Methode (vgl. **Lernplattform 1 von 2 im Unterrichtsentwurf**).

b) Das „Stille Eudiometer“ - Die sauberste Art zu analysieren

In der praktischen Anwendung dieses theoretisch eingeführten Problems bedient sich der Lehrer einer neuen, saubereren Methode, als es die klassische Verbrennungsanalyse einst war. Als Leitfrage steht hier, wie schon in der letzten Stunde, die Frage, auf welche Arten man die Summenformel unbekannter organischer Verbindungen, in unserem vereinfachten Fall von Alkanen, bestimmen kann. In einem „**Stillen Eudiometer**“ werden im Zuge eines Lehrer-Schüler-Versuches zwei unbekannte Gase in reinem Sauerstoff verbrannt (vgl. auch **Versuch 8 in Anhang 21.9**).

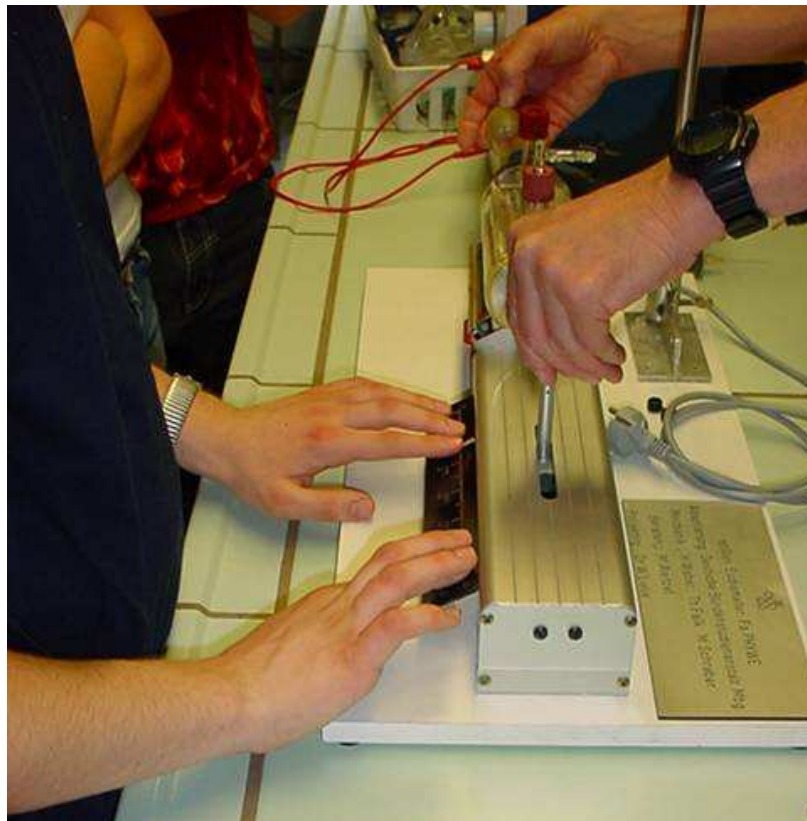


Bild 15.2: Eine Braille-gerechte Apparatur

In der Durchführung heißt das nun, dass ein bestimmtes Volumen an **Methan** bzw. **Butan** mit dem gleichen Volumen an **Sauerstoff-Gas** in **stiller Reaktion** verbrannt werden, also nicht explosiv wie in **Versuch 4** aus der **vierten Stunde des Unterrichtsentswurfs**. Die „**Stille Verbrennung**“ wird in einem speziell dafür vorgesehenen Reaktionsgefäß durchgeführt, indem das jeweilige Alkan-Sauerstoff-Gemisch

mittels eines Zündfunken über eine Piezo-Zündung per Knopfdruck zur Reaktion gebracht wird. Das bei dieser Reaktion entstehende Gas wird mit Hilfe eines in der Apparatur integrierten Kolbenprobers aufgefangen, um sein Volumen bestimmen zu können. Es entsteht aufgrund des starken Sauerstoff-Überangebotes im Vergleich zur Luft fast vollständig Kohlenstoffdioxid. Eine Skala am unteren Ende des Eudiometer-Kolbenprobers ermöglicht hierbei auch blinden Schülern das aufgefangene Gasvolumen in **Braille-Schrift** abzulesen. Dadurch wirkt der Versuch wieder integrativ für blinde Schüler und der Lehrer erreicht so eine Effektivitätssteigerung dieses Experimentes für die gesamte gemischte Lerngruppe. Im ersten Durchgang des Versuches entsteht aus einem bestimmten Volumen Methan, hier 10 mL, das gleiche Volumen Kohlenstoffdioxid-Gas. Durch Bestimmung des Quotienten aus **Volumen(CO₂) : Volumen (Alkan)** ist es dann möglich, die Anzahl der Kohlenstoffatome im Alkan-Molekül zu bestimmen. Das Methan-Molekül besitzt demnach $10 \text{ mL} : 10 \text{ mL} = 1$ Kohlenstoffatom (**Summenformel CH₄**). Analoges gilt für Butan, wobei hier aus 10 mL des Alkans 40 mL Kohlenstoffdioxid-Gas entstehen. Das Butan-Molekül besitzt demnach vier Kohlenstoffatome (**C₄H₁₀**). Das als Nebenprodukt entstehende Wasser setzt sich nach der Reaktion an den kalten Glasteilen der Apparatur tropfenförmig ab und verfälscht durch sein geringes Volumen in flüssigem Zustand das Messergebnis nicht bedeutend. Durch diesen Versuch entwickeln die Schüler einen großen Bezug zu den in den vorhergehenden Stunden theoretisch betrachteten strukturellen Eigenschaften von Alkanen. Das vorhandene Wissen wird wiederholt und durch diese praktische Anwendung zusätzlich gefestigt.

c) Ein alternativer Versuch und der Nachteil staatlicher Schulen

In einer anschließenden Gesprächsphase mit der gemischten Lerngruppe arbeitet man als Lehrer dann nochmals die aus dem Versuch gewonnenen Fakten auf und erwähnt wiederholend die zunehmend unvollständige Verbrennung der Alkane bei Zunahme ihrer Kettenlänge. Man sollte auch erwähnen, dass die Methode mit dem Stillen Eudiometer, anders als bei der klassischen Verbrennungsanalyse, nur mit gasförmigen Alkanen exakte Werte liefern kann. Man sollte sich deshalb als Alternative die Möglichkeit offen lassen, ob man diese saubere Methode im Unterricht einsetzt oder auf die klassische Methode nach **Liebig** und **Lavoisier** zurückgreift. Viele Schulen besitzen zudem keine Apparatur zur Stillen Verbrennung, so wie es in der *Carl-Strehl*-Schule der Fall ist, sodass man zwangsläufig auf die klassische Methode zurückgreifen muss. Deshalb sei an dieser Stelle ein zweiter Versuch didaktisch,

sowie methodisch analysiert, welcher im Unterrichtsentwurf als **Alternativ-Versuch 2** gekennzeichnet ist. In dieser alternativen Experimentierphase können wie in **Versuch 8** die gasförmigen Alkane Methan und Butan quantitativ analysiert werden. Dazu wird ein bestimmtes Volumen des zu analysierenden Gases in einen Kolbenprober überführt und über Kupfer(II)-oxid geleitet. Dieses befindet sich in einem am Kolbenprober angeschlossenen Quarzrohr und wird mit Hilfe eines Bunsenbrenners bis zur Rotglut erhitzt. Das entstehende Reaktionsprodukt, gasförmiges Kohlenstoffdioxid, wird in einem zweiten Kolbenprober aufgefangen. Durch Hin- und Herbewegen des Methans kommt es so nach wenigen Minuten zur vollständigen Reaktion. Entstandenes Wasser setzt sich nach Abkühlen der Apparatur tropfenförmig im Quarzglas oder im Kolbenprober ab und verfälscht durch sein geringes Volumen in flüssigem Zustand das Messergebnis wie in **Versuch 8** nicht bedeutend.

Der Vorteil dieses Vorgehens wurde vorhin schon genannt. Aus nahezu einfachen Apparaturbestandteilen aufgebaut, ist dieser Versuch dem Eudiometer-Versuch in der Kostenfrage auf jeden Fall überlegen, da die einzelnen Bestandteile in jeder Chemiesammlung der Schulen enthalten sein dürften. Die Nachteile liegen jedoch genau aus diesem Grund des einfachen Aufbaus auf der Hand. Der Lehrer muss die Apparatur erst aufbauen und auf Dichtigkeit hin überprüfen. Des Weiteren muss man hier vorschlagen, den Versuch mit einem **präparierten Kolbenprober** durchzuführen, der über eine zusätzlich angebrachte **Braille-Skala** zur Ablesung des Kolbenprobers verfügt. Diese gibt es nirgendwo zu kaufen, sondern muss vom Lehrer selbst bzw. von speziellen Fachkräften im Auftrag des Lehrers erstellt werden. Die *Carl-Strehl*-Schule verfügt im Übrigen über solch präparierte Kolbenprober. Wenn man darauf verzichten möchte, bleibt dem Lehrer nichts anderes übrig, als das Ablesen des entstandenen Volumens den sehbehinderten Schülern zu überlassen. Das kann man ab und zu machen, jedoch sollten blinde Schüler auch so oft es geht in die Ergebnisbeobachtung aufgrund nötiger Integration mit einbezogen werden. Ein weiterer großer Nachteil ist die Arbeit mit dem **Bunsenbrenner**, der ein großes Risiko in Lehrer-Schüler-Versuchen mit blinden und sehbehinderten Schülern mit sich bringt. Hier sei dazu plädiert, dass der Lehrer selbst die Erhitzung des Verbrennungsrohres durchführt und den Schüler nur die Bewegung des Methans durch die Kolbenprober gestattet. Alles andere könnte fatale Folgen haben und wäre nach Ansicht des Autors grob fahrlässig, da man Verbrennungen der am Versuch teilnehmenden Schüler in Kauf nimmt. Nachteilig muss auch die **längere Versuchsdurchführung** von etwa

35 Minuten, sowie die doch sehr schmutzige Arbeit mit dem eingesetzten Kupfer(II)-oxid im Vergleich zur sauberen Verbrennung im „**Stillen Eudiometer**“ erwähnt werden. Im Anschluss an beide Versuche sollte man durch Erstellen der im Unterrichtsentwurf vorgeschlagenen Lernplattform über die quantitative Verbrennungsanalyse und die aus dieser Analysemethode folgende Bestimmung der Anzahl der Kohlenstoffatome der vorliegenden unbekanntes Verbindung die wichtigen Aspekte für die gemischte Lerngruppe am PC sichern (**vgl. Lernplattform 2 von 2 im Unterrichtsentwurf**).

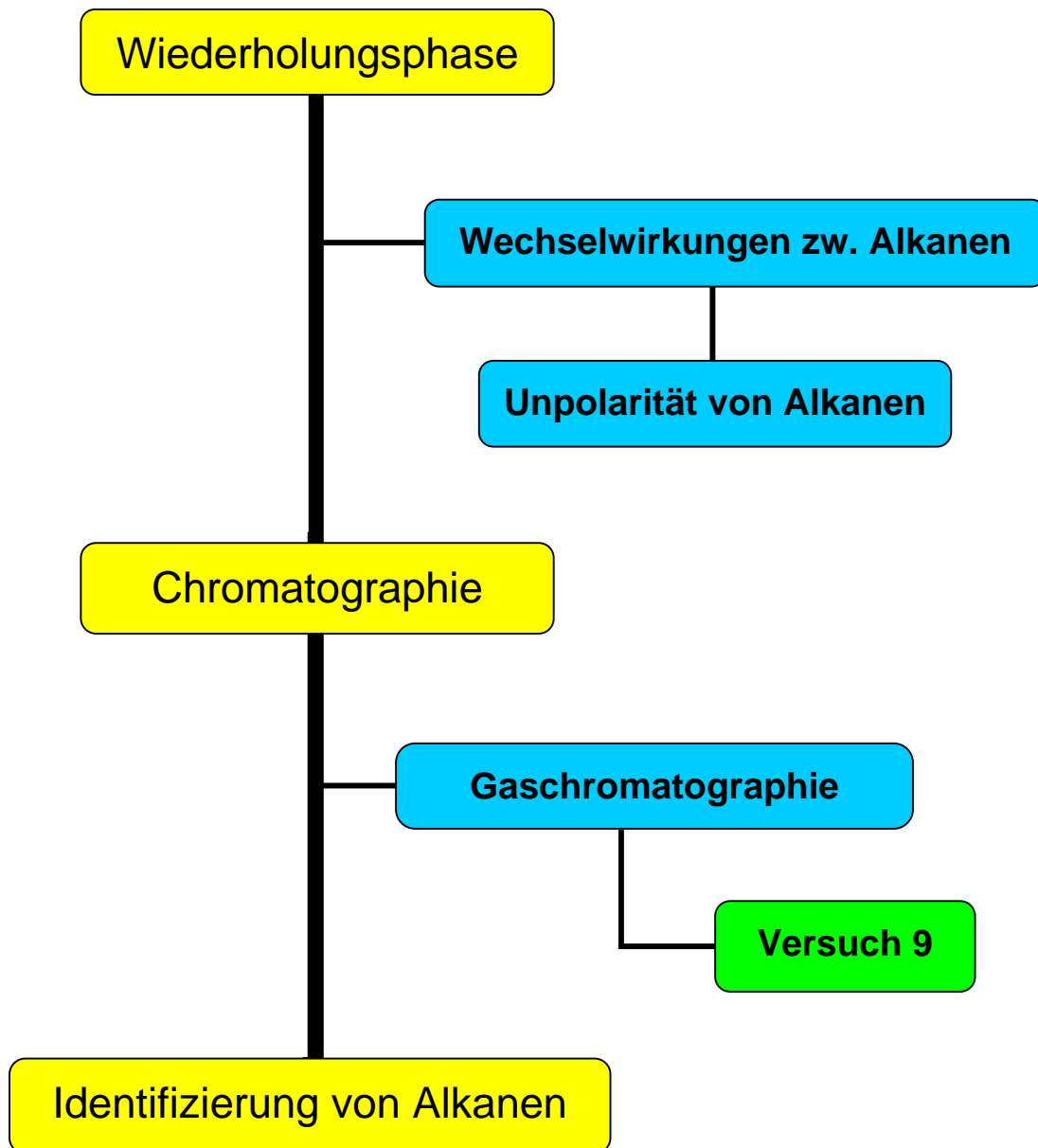
Das Ende der Schulstunde bildet wieder ein kurzer Ausblick auf die nächste Stunde, in der eine neue Methode zur Stofftrennung organischer Gemische mit Hilfe spezieller Lösungsmittel, die **Chromatographie**, vorgestellt wird.

16 Zur praktischen Durchführung des Unterrichtsentwurfs

An dieser Stelle habe ich mich entschlossen, ein kurzes privates Resümee über die praktische Durchführung des bis hierhin beschriebenen Unterrichtsentwurfs zu verfassen. Im Großen und Ganzen wurde das vor der Hospitationsphase fertig gestellte Konzept über die Einführung der Organischen Chemie 1:1 im Chemiekurs **11 AG 03** an der *Carl-Strehl-Schule* in Marburg erprobt und nur an einigen wenigen Stellen optimiert. Der Unterricht wurde in Kooperation mit Herrn *Dr. Liese* durchgeführt, wobei die Durchführung der Versuche aufgrund von Sicherheitsbestimmungen bei ihm lag. Ich assistierte ihm dabei, wodurch es mir zusätzlich möglich war, eine vollständige Dokumentation der einzelnen Experimente mit Hilfe einer Digitalkamera zu machen. Die Bilddokumentationen sind unter den jeweiligen Versuchsprotokollen in **Anhang 21** einzusehen. Bei der Durchführung von Demonstrationen, welche sich vor allen Dingen auf die Arbeit mit Molekülmodellen und hauptsächlich mit der Verbindung Methan auseinandersetzten, versuchte ich auch manches Mal auf eigene Faust mein Glück. Leider waren im Hospitationszeitraum vom 13.03.2006 bis 30.05.2006 viele Unterrichtsausfälle zu verzeichnen, was aufgrund von Klassenfahrten, Klausuren in anderen Fächern und den Osterferien nicht zu vermeiden war. Eingestreute Wiederholungsphasen verarzteten zudem viele Wissenslücken in den Köpfen der Schüler nach längeren Stundenausfällen. Wir versuchten trotz alledem meinen Unterrichtsentwurf so weit wie möglich in der Praxis auszutesten, was uns bis zur achten Stunde des Unterrichtsentwurfs gelang. Dennoch konnte ich mir während der kurzen Hospitationsphase viele Eindrücke bezüglich der didaktischen und methodischen Grundlagen der Blindenpädagogik und der Arbeit der *Deutschen Blindenstudienanstalt e.V.* verschaffen, die nachher in die gesamte Konzeption der Arbeit mit eingebracht wurden. Da es sehr wenige fachliterarische Werke zu dieser Thematik gibt, war dies die einzige Möglichkeit, einen umfassenden Eindruck über die gymnasiale Ausbildung sehgeschädigter Menschen zu bekommen. Während des Unterrichts wurden neben dem eigentlichen Unterrichtsentwurf auch neue didaktische und methodische Konzepte erprobt. Dabei ist in dieser kurzen Nachbetrachtung zu sagen, dass ich in der ersten Stunde mein selbst erstelltes Hörspiel „*Die Neuorientierung der Chemie*“ nicht wie es vorher geplant war vorspielen konnte. Ich musste stattdessen das Stück mit Herrn *Dr. Liese* selbständig vor der Klasse interpretieren, wobei das Vorgetragene positiv bei den Schülern ankam. Auch Teile aus meinem entwickelten Molekülmodell und das Periodensystem für sehbehinderte und

blinde Schüler konnten an einige im Unterricht Verwendung finden, wobei ich ebenfalls ein positives Feedback von Seiten der Schüler und Herrn *Dr. Liese* für diese Entwürfe erhielt.

Es sei gesagt, dass die kommenden Stunden auf einem früheren Unterrichtsbesuch in der *Carl-Strehl*-Schule basieren, wo ich selbst beim Einsatz des Low-Cost-Gaschromatographen in einer elften Klasse anwesend sein durfte. Das weitere Vorgehen zu den Isomeren der Alkane ist dann die logische Folge, welche sich direkt aus den Problemstellungen der gaschromatographischen Untersuchung ergibt. Ich werde bis zu Ende des laufenden Schuljahres in der Lerngruppe weiter unterrichten und hoffe meinen Unterrichtsentwurf im Ganzen praktisch ausprobieren zu können.

17 Neunte Stunde: Die Gaschromatographie**Der Fahrplan für die neunte Stunde**

17.1 Der Unterrichtsentwurf der neunten Stunde**SCHÜLER** Wiederholungsphase**Zeit****0****Zeitansatz:** 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- Verbrennungsanalyse als quantitative Analysemethode nach *Liebig* und *Lavoisier*
- Verbrennungsanalyse im „Stillen Eudiometer“

SCHÜLER Gedankenexperiment**3****Zeitansatz:** 5 Minuten**Leitfragen:**

- 1.) Gibt es noch andere Methoden zur Identifizierung von Alkanen?
- 2.) Lassen sich Gemische organischer Verbindungen trennen?

Ergebnis:

Man kann Alkane (und andere organische Verbindungen) aufgrund ihres unterschiedlichen physikalischen Verhaltens und unterschiedlicher Wechselwirkungen voneinander trennen (vgl. **Demonstration 7 in Anhang 21.7**). Eine Methode zur Trennung von Alkanen ist die **Chromatographie**.

Die Geschichte der Chromatographie

Die Geschichte der Chromatographie geht bis in die Antike zurück. Schon *Aristoteles* (384 - 322 v. Chr.) nutzte die chromatographische Wirkung einiger Tonerden zur Meerwasserreinigung. Im Mittelalter fand die Methode der Scheidekunst viele Anhänger in der alchemistischen Wissenschaft. Der erste bekannte Chemiker der papierchromatographische Methoden anwendete war *Friedlieb Ferdinand Runge* (1794 - 1864) um 1860, der aus künstlerischen Gründen eigene Kapillarbilder kreierte.

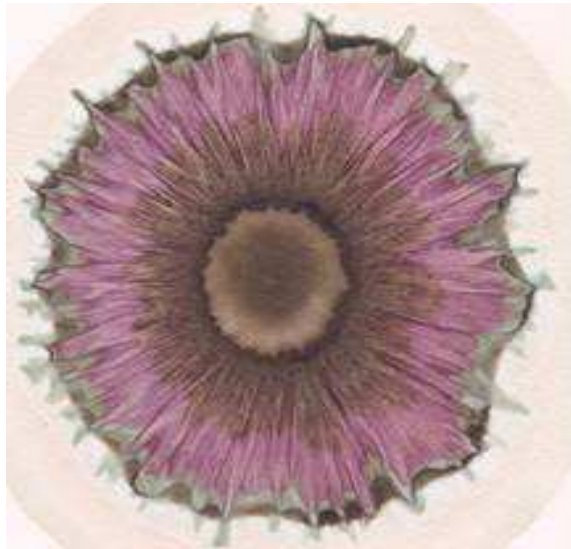


Bild 17.1: Kapillarbild nach der *Runge*-Methode

Im Jahre 1903 veröffentlichte der russische Botaniker *Michel S. Tswet* seine Arbeiten zur Trennung von Chlorophyll mittels Adsorptionschromatographie, was die eigentliche Begründung und Namensgebung des chromatographischen Prozesses bedeutete. Auch einige wichtige Chemiker, darunter auch der deutsche Biochemiker *Richard Kuhn* (1900 - 1967), wurden für chromatographischen Untersuchungen mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Es sei erwähnt, dass im Zeitraum zwischen 1937 und 1972 allein zwölf Nobelpreise für Arbeiten verliehen wurden, in denen die Chromatographie eine entscheidende Rolle spielte.

Die Methode der Chromatographie

Ein Gemisch aus verschiedenen Alkanen kann mit Hilfe **chromatographischer Methoden** aufgetrennt werden. Hierbei sind zum einen die **Dünnschicht-**, die **Säulen-** und die **Ionenaustauschchromatographie** zu nennen. Eine weitere Methode ist die in **Versuch 9** näher betrachtete **Gaschromatographie**. Der erste Gaschromatograph wurde im Jahre 1951 von *Archer J.P. Martin* und *Anthony T. James* in England entwickelt.

SCHÜLER Lernplattform 1 von 2

15

Die Chromatographie

Ein organisches Stoffgemisch lässt sich durch chromatographische Prozesse in seine Bestandteile auftrennen.

Typen: Dünnschichtchromatographie, Säulenchromatographie, Ionenaustauscherchromatographie, **Gaschromatographie**

LEHRER informativer Lehrervortrag

18

Das Prinzip des Gaschromatographen

Die Auftrennung der Einzelkomponenten aus dem eingesetzten Stoffgemisch erfolgt durch die verschiedenen Wechselwirkungen der im Stoffgemisch vorhandenen Komponenten mit einer **unbeweglichen (stationären)** und einer **beweglichen (mobilen) Phase**. Die Einzelkomponenten durchlaufen den Chromatographieprozess dabei unterschiedlich schnell.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch**Versuch 9 (Teil 1): Gaschromatographische Untersuchungen mit dem Low-Cost-Gas-Chromatographen AK LCGC 03****Zeitansatz:** 20 Minuten**Versuchsdurchführung:**

Zur Einführung in die Gaschromatographie wird ein **graphisches Chromatogramm** eines **bekanntes Alkan-Gasgemisches** mit Hilfe des **Low-Cost-Gas-Chromatographen AK LCG C 03** erstellt. Die Detektion erfolgt über eine graphische Benutzeroberfläche auf dem Computer und wird zusätzlich über die Tonausgabe des elektronischen Detektors für die blinden Mitschüler audiographisch übersetzt.

Ergebnis:

Im Vergleich zu **Referenz-Chromatogrammen** besteht das vorliegende Gemisch tatsächlich aus **Methan, Ethan, Propan** und **Butan**. Das Verfahren der Gaschromatographie ermöglicht es, Gase und leicht verdampfbare Flüssigkeiten voneinander zu trennen. Die **stationäre Phase** besteht aus einem **Trägermaterial**, wie z.B. Kieselerde, auf dem Siliconöl aufgetragen wird. Diese stationäre Phase wird in eine **Trennsäule aus Polyamid** überführt, in der der chromatographische Prozess von Statten geht. Nicht-reaktive (**inerte**) **Gase** wie Helium oder Stickstoff bilden die **mobile Phase**.

LEHRER Unterrichtsgepräch

Wenn man nun ein Stoffgemisch in den **Chromatographen** gibt, stellt sich sogleich ein **Adsorptionsgleichgewicht** zwischen den beiden Phasen und den Einzelkomponenten des zu trennenden Gemischs ein. Es hängt nun davon ab, ob die einzelnen Stoffe aufgrund ihrer unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften, eher an der stationären Phase adsorbiert werden oder lieber mit der mobilen Phase wechselwirken. Je stärker ein Stoff an der stationären Phase adsorbiert wird, umso langsamer durchläuft er den chromatographischen Wanderungsprozess, je besser er sich in der

mobilen Phase löst, umso schneller durchläuft er diesen.

SCHÜLER Lernplattform 2 von 2

42

Prinzip des Gaschromatographen

Eine stationäre Phase (fest oder flüssig) und eine mobile Phase (flüssig oder gasförmig) trennen Stoffgemische aufgrund der verschiedenen Wechselwirkungen der Einzelkomponenten mit ihnen in ihre Bestandteile auf. Die Einzelkomponenten durchlaufen den Chromatographieprozess dabei unterschiedlich schnell.

LEHRER Ausblick auf nächste Stunde

45

In der nächsten Stunde soll die Methode der Gaschromatographie dazu benutzt werden, um Feuerzeuggas auf seine Bestandteile zu analysieren.

17.2 Didaktische und methodische Betrachtung der neunten Stunde

Der Einstieg in die neunte Stunde des Einführungsunterrichts in die Organische Chemie wird vom Lehrer wie üblich über eine Wiederholungsphase geschaffen. Hierbei prüft er das Wissen der Schüler über die in der letzten Stunde experimentell erprobte Methode der **Verbrennungsanalyse** nach *Lavoisier* und *Liebig*, welche den Schülern durch den Versuch der quantitativen Analyse von Methan und Butan im „**Stillen Eudiometer**“ näher gebracht wurde. Dadurch wird die Methodik der quantitativen Analyse und deren Wichtigkeit nochmals untermauert. Die Wiederholungsphase dient deshalb zugleich zur Einleitung einer weiteren Methode Alkan-Gemische zu analysieren.

a) Geschichtliche Einführung und Wichtigkeit der Chromatographie

Ein Gedankenexperiment, welches sich direkt an die kurze Wiederholungsphase anschließt, wirft innerhalb der gemischten Lerngruppe die Frage auf, welche anderen Methoden, neben den bereits besprochenen Methoden der **Verbrennungsanalyse** nach *Liebig* und *Lavoisier*, sowie der **Bestimmung der Molaren Masse** nach *Avogadro*, zur weiteren Charakterisierung und Identifizierung von Alkanen benutzt werden könnten. Die Leitfrage, ob sich Gemische organischer Verbindungen in ihre Bestandteile auftrennen lassen, leitet die Lerngruppe dabei auf direktem Weg zum anschließenden Versuch der chromatographischen Trennung. Die Schüler werden sich jedoch zunächst während dieser Stillarbeitsphase an bereits bekannten Phänomenen aus vorangegangenen Stunden orientieren. Sie schlagen vor, Alkane aufgrund des unterschiedlichen physikalischen Verhaltens und unterschiedlicher Wechselwirkungen zu trennen. Dabei wird ein Experiment als Vergleich herangezogen, in dem die **Unpolarität von Alkanen** demonstriert wurde (vgl. **Versuch 6 in Anhang 21.7**). In einer Lernplattform wurde zudem in dieser Stunde gesichert, dass mit steigender Kettenlänge der Alkane die Unpolarität zunimmt. So können Alkane aufgrund dieser unterscheidbaren physikalischen Eigenschaft voneinander getrennt werden. Dies muss in einer vom Lehrer geleiteten offenen Diskussionsrunde auf jeden Fall präzisiert werden, um sich im Folgenden an ihren Ergebnissen im Unterricht zu orientieren.

Ein informativer Lehrervortrag führt dann die Methode der **Chromatographie** zur Trennung von Stoffgemischen organischer Verbindungen ein. Hierbei kann der

Lehrer den im Unterrichtsentwurf empfohlenen Weg einschlagen und zunächst die Geschichte der Chromatographie anhand einiger Eckdaten darstellen. Die Nennung der **Geschichte der Chromatographie** kann dem Anwender frei überlassen bleiben. Die Erstellung einer Lernplattform für diese Einführung in die Methodik sollte jedoch aus zeitlichen Gründen vermieden werden. Während der Durchführung kann der Lehrer den sehbehinderten Schülern papierchromatographische Erzeugnisse an die Hand geben, die sie näher studieren können. Es bieten sich hierbei die künstlerisch sehr ansprechenden **Runge-Bilder** an, die den sehbehinderten Schülern bereits aus dem **Kunstunterricht** bekannt sein könnten. Dabei können auch Schüler, welche sich nicht so sehr mit der Chemie und deren Methoden identifizieren können, aber sehr den Künsten zugeneigt sind, näher an die Chemie herangeführt, also sozusagen „geködert“ werden. Manchmal braucht man als Chemielehrer, gerade in Lerngruppen, in denen sich ein funktionierender Chemieunterricht nicht so leicht gestaltet, einige legitime Köder aus den angrenzenden Fachgebieten, um den Chemieunterricht attraktiver gestalten und die gesamte Lerngruppe bei der Stange halten zu können. Den blinden Schülern können hier auch taktile Erzeugnisse ausgeteilt werden, z.B. taktil zu erfassende **Gas-Chromatogramme**, damit die sehbehinderten Schüler nicht durch die alleinige Nutzung von Medien bevorzugt werden. Wenn den Schülern die Historie der Chromatographie nahe gelegt wird, so sollte auf die (deutschen) Chemiker eingegangen werden, welchen diese Methodik großen Ruhm, z.B. in Form des **Nobelpreises**, eingebracht hat. Den Anschluss an diese Phase bildet dann die Vorstellung der eigentlichen **Methodik** dieser Form der qualitativen Analyse, in der kurz die Durchführung eines chromatographischen Analyseprozesses durchleuchtet werden sollte. Dabei wird empfohlen verschiedene Arten, wie z.B. die **Dünnschicht-**, die **Säulen-** und die **Ionenaustauschchromatographie** zu nennen, jedoch diese nicht weiter zu betrachten, da sie für blinde Schüler keineswegs zu Erkenntnissen, durch die hier empfohlene Methodik des „Entdeckenden Lernens“, führen würden. Der Lehrer sollte sich auf eine wichtige Chromatographiemethode beschränken, um vom speziellen Fall dann Rückschlüsse auf den allgemeinen Fall in Zusammenarbeit mit der gemischten Lerngruppe ziehen zu können. Die **Gaschromatographie** eignet sich hier besonders und wird schon jahrelang erfolgreich im Einführungsunterricht gemischter Lerngruppen der *Carl-Strehl-Schule*, sowie im Rahmen des **Chemikums** an der Universität Marburg eingesetzt. Eine erste Lernplattform sichert dann zunächst die Definition der Chromatographie und zählt verschiedene Arten auf, wobei die Gaschromatographie von allen anderen oben genannten Analysemethoden für den Unterricht in gemischten Lerngruppen

abgehoben werden sollte (**vgl. Lernplattform 1 von 2 im Unterrichtsentwurf**). Auf die Funktionsweise wird dann während des kommenden Versuches der chromatographischen Untersuchung eines gasförmigen Alkan-Gemisches näher eingegangen.

b) Die gaschromatographische Analytik

Der nachfolgende Versuch erklärt dann die Funktionsweise eines Gaschromatographen im Detail. Dabei wird ein Gemisch aus gasförmigen Alkanen, am besten den ersten vier **n-Alkanen** der Homologen Reihe, **Methan, Ethan, Propan** und **Butan** gaschromatographisch untersucht. Das detektierte Gaschromatogramm kann währenddessen für sehbehinderte Schüler optisch am PC durch ein geeignetes Programm, welches beim **Low-Cost-Gaschromatographen AK LCG C 03** im Lieferumfang enthalten ist, sowie für blinde Schüler akustisch mit Hilfe der Soundausgabe des Detektors verfolgt werden. Den Schülern sollte vor und während der Durchführung die Versuchsanordnung genau erklärt und auf die wesentlichen Bestandteile des Gaschromatographen hingewiesen werden. Dabei sollte auf die Wechselwirkungen der einzelnen Bestandteile des zu analysierenden Gemisches mit den vorhandenen Phasen des Chromatographen eingegangen werden. Durch die unterschiedliche Wechselwirkung der Einzelkomponenten mit der **mobilen** bzw. **stationären Phase**, kommt eine Auftrennung zustande, sodass die Komponenten in der Mischung die Trennsäule des Gaschromatographen unterschiedlich schnell passieren. Nach Aufzeichnung des Chromatogramms mit dem mitgelieferten Computerprogramm sollte zum Vergleich ein älteres **Referenz-Chromatogramm**, welches aus vorherigen Durchführungen stammt, zu Rate gezogen werden. Durch diesen Vergleich sichert der Lehrer die Genauigkeit der Durchführung zusätzlich ab und beweist den Schülern die Richtigkeit der detektierten **n-Alkane** in der Messung. Dazu bietet das Komplettpaket des **Low-Cost-Gas-Chromatographen AK LCG C 03** zusätzliches Referenz-Material in Form eines Anhangs in der beiliegenden Produktbeschreibung in gedruckter Form. In dieser experimentellen Phase sollte der Lehrer jedoch die detaillierte Betrachtung des Grundes für die Auftrennung des gasförmigen Alkan-Gemisches hinten anstellen, da dieser in der nächsten Stunde konkret diskutiert wird. Ein folgendes Unterrichtsgespräch in einer angeleiteten Diskussionsrunde sammelt danach die aus dem Versuch erhaltenen Ergebnisse und sichert in einer zweiten Lernplattform zunächst das Prinzip eines Gaschromatographen, indem Angaben zu stationärer und mobiler Phase, sowie den unterschiedlichen Wechselwirkungen der Einzelkomponenten mit diesen, gemacht werden (**vgl.**

Lernplattform 2 von 2 im Unterrichtsentwurf).

Am Ende der Unterrichtsstunde gibt ein Ausblick auf die kommende Stunde ein wenig Motivation mit auf den Weg, da die Schüler hier ein unbekanntes Gasgemisch, herkömmliches Feuerzeuggas, gaschromatographisch auf seine Einzelkomponenten zu analysieren versuchen.

18 Zehnte Stunde: Auf den Spuren von Sherlock Holmes

18.1 Der Unterrichtsentwurf der zehnten Stunde

SCHÜLER Wiederholungsphase

Zeit

0

Zeitansatz: 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- Verschiedene Chromatographieverfahren
- Gaschromatographie

SCHÜLER Gedankenexperiment

3

Zeitansatz: 5 Minuten

Aufgabe:

Welche Chemikalien (Lösungsmittel) eignen sich zur Erstellung von **stationärer** und **mobiler Phase**? Begründe deine Antwort anhand der Trennung eines Gemisches aus **Ethanol** (C_2H_5OH) und **Pentan**.

Ergebnis:

Die beiden Phasen sollen von unterschiedlicher Polarität gewählt werden, sodass das eher **polare Ethanol** vom eher **unpolaren Pentan** getrennt werden kann.

LEHRER Unterrichtsgespräch

8

Die Moleküle polarer Verbindungen besitzen die **Dipoleigenschaft** (vgl. **Kapitel 8 und 13**). Deshalb kommt es zwischen polaren Stoffen und polaren Lösungsmitteln als stationäre oder mobile Phase während eines chromatographischen Prozesses zu

starken Wechselwirkungen. Ethanol kann aufgrund seiner **funktionellen OH-Gruppe** mit **polar-protischen Lösungsmitteln**, wie z.B. Wasser, **Wasserstoffbrückenbindungen** eingehen.

Zwischen unpolaren Verbindungen und einer unpolaren Phase kommt es nur zur Ausbildung von schwachen **van-der-Waals-Wechselwirkungen**. Deshalb kann man in diesem Fall ein polares Lösungsmittel, z.B. Wasser, als stationäre Phase auf einem Trägermaterial wie z.B. einem Filterpapier und ein unpolares Lösungsmittel, z.B. Heptan oder Dichlormethan (CH_2Cl_2) als mobile Phase einsetzen, um dieses Stoffgemisch zu trennen. Werden Stoffgemische aus rein polaren oder rein unpolaren Verbindungen chromatographisch getrennt, erfolgt die Trennung allein aufgrund der **Stärke der einzelnen Wechselwirkungen**.

SCHÜLER Lernplattform 1 von 2

12

Wichtige Eigenschaften der Phasen in chromatographischen Prozessen

Stationäre Phase und mobile Phase müssen sich in ihren physikalischen Eigenschaften unterscheiden. Unterschiede in der Polarität der beiden Phasen trennen Stoffgemische aufgrund vorhandener oder nicht vorhandener Dipol- bzw. van-der-Waals-Eigenschaften, sowie der Stärke der auftretenden Wechselwirkungen auf.

LEHRER Unterrichtsgespräch

14

Ein Gasgemisch aus mehreren Alkanen lässt sich, wie in **Versuch 9 (Teil 1)** bereits gesehen mit Hilfe der Gaschromatographie leicht in seine Komponenten auftrennen. Da Alkane gute Brennstoffe sind und Feuerzeuggas ein Gemisch verschiedener Alkane darstellt, soll dieses im Folgenden untersucht werden. Die Herstellerfirma des eingesetzten Feuerzeuggases gibt dabei neben anderen gasförmigen Alkanen auch das bei Druck flüssige Butan als Hauptbestandteil des brennbaren Gasgemischs an.

Anhand der Ergebnisse aus der vorhergehenden Stunde soll das nun erstellte Gaschromatogramm von Feuerzeuggas mit dem Chromatogramm der letzten Stunde verglichen werden.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch

Versuch 9 (Teil 2): Gaschromatographie von Feuerzeuggas mit dem Low-Cost-Gas-Chromatographen AK LCGC 03

Zeitansatz: 20 Minuten

Versuchsdurchführung:

Man erstellt ein **graphisches Chromatogramm** von **Feuerzeuggas** mit Hilfe des **Low-Cost-Gas-Chromatographen AK LCG C 03**. Die Detektion erfolgt über eine graphische Oberfläche auf dem Computer und wird zusätzlich über die Tonausgabe des elektronischen Detektors für die blinden Schüler audiographisch übersetzt. Danach vergleicht man das erhaltene Chromatogramm mit dem aus **Versuch 9 (Teil 1)** erstellten Chromatogramm eines bekannten **Gemisches aus Methan, Ethan-, Propan- und Butan**.

Ergebnis:

Der gaschromatographische Vergleich zum Reinstoff anhand des **Referenz-Chromatogramms** aus der vorhergehenden Stunde ist nicht übereinstimmend verlaufen. Das erhaltene Chromatogramm gibt Zweifel auf, ob sich wirklich **Butan** in der **Feuerzeuggas-Flasche** befindet, wie es die Herstellerangaben auf dem Behältnis angeben.

SCHÜLER Gedankenexperiment

37

Zeitansatz. 5 Minuten**Leitfrage:**

Wie kann man nun durch eine andere Art überprüfen, ob die Herstellerangaben korrekt sind und somit wirklich Butan in der Feuerzeuggas-Flasche enthalten ist?

Lösung:

Man bestimmt die **Molaren Massen** von Feuerzeuggas und reinem Butan mit Hilfe der quantitativen Analyse von *Avogadro* und vergleicht beide (vgl. **Versuch 7 in Anhang 21.8**).

SCHÜLER Lernplattform 2 von 2

42

Chromatographische Untersuchung von Feuerzeuggas

Nach der chromatographischen Untersuchung von Feuerzeuggas ist Butan als Hauptbestandteil nicht nachzuweisen. Es bedarf weiterer Untersuchungen, um die Herstellerangaben auf der Feuerzeuggas-Flasche zu überprüfen. Hierzu eignet sich die bekannte quantitative Methode der Bestimmung der Molaren Massen nach *Avogadro*.

LEHRER Ausblick auf die nächste Stunde

45

In der nächsten Stunde sollen die **Molaren Massen** von Feuerzeuggas und reinem Butan mit Hilfe der quantitativen Bestimmung nach *Avogadro* ermittelt werden, um die Herstellerangaben auf der Feuerzeuggas-Flasche zu überprüfen.

18.2 Didaktische und methodische Betrachtung der zehnten Stunde

Die Stunde beginnt mit einer dreiminütigen Wiederholungsphase, in der zunächst die bekannten **Chromatographieverfahren** genannt werden. Im Anschluss daran, sollte die Lerngruppe die **Funktionsweise eines Gas-Chromatographen** grob umschreiben, sodass der Lehrer, gestützt durch ein einführendes Gedankenexperiment, sogleich in die Analytik eines unbekanntes Gasmisches mit Hilfe dieses Verfahrens einsteigen kann.

a) Das geleitete Unterrichtsgespräch zur Festigung der Grundlagen

Um im weiteren Verlauf des Unterrichts zur gaschromatographischen Untersuchung eines organischen Gasmisches näher auf die einzelnen Phasen eines Chromatographen einzugehen hilft ein kleines Gedankenexperiment, in dem die Schüler in einer etwa fünfminütigen Stillarbeitsphase herausfinden sollen, welche Chemikalien sich zur Erstellung von stationärer und mobiler Phase am besten eignen. Zur Beantwortung dieser Frage soll als Beispiel ein den Schülern bekanntes Gemisch aus **Ethanol (C₂H₅OH)** und **Pentan** betrachtet werden. Aus den **Stunden zwei** und **sechs** ist bereits bekannt, dass Pentan eher unpolar ist. Die Polarität von Ethanol wurde in Stunde sechs kurz angesprochen, kann aber auch von guten Schülern aus den Erfahrungen zu den physikalischen Eigenschaften von Wasser der Sekundarstufe I hergeleitet werden. Hierbei kann schon mal vorgreifend auf die Charakteristik der funktionellen Gruppen in der Organischen Chemie die OH-Gruppe von Alkoholen im Vergleich zu Wasser eingegangen werden. In einem weiteren Versuch aus der sechsten Stunde wurde der **Unterschied in der Polarität**, vor allem für sehbehinderte Schüler, zudem einleuchtend unter Beweis gestellt (**vgl. Versuch 6 in Anhang 21.7**).

In einem anschließenden geleiteten Unterrichtsgespräch diskutiert der Lehrer dann zur Wiederholung und Vertiefung der Materie mit der gesamten Lerngruppe über die Dipoleigenschaften polarer Moleküle und die aus der fehlenden Dipoleigenschaft resultierenden Unpolarität von Alkanen. Begriffe wie **van-der-Waals-Kräfte** und **Wasserstoffbrückenbindungen** können hier auf einfache Weise, auch im Hinblick auf eine kommende Klausur wiederholt werden. Danach sollte der Lehrer das Ganze im Sinne der chromatographischen Untersuchung konkretisieren, um damit die Unterschiede in der Polarität beider eingesetzten Phasen zu erläutern. Es sollten der

Vollständigkeit halber auch einige **Beispiele** für **polare** und **unpolare Stoffe** genannt werden, welche man zu chromatographischen Prozessen nutzt, auch wenn die Schüler noch nicht viel mit den meist organischen Stoffen anfangen können. Das wird sich im Laufe des vertiefenden Unterrichts noch ändern, der Lehrer kann dann zur Besprechung verschiedenster Bereiche der Organischen Chemie auf hier bereits genannte organische Verbindungen zurückgreifen und schlägt somit eine **Lernbrücke** zur vorangegangenen zehnten Stunde. Die Phase endet mit einer weiteren Sicherung des Erarbeiteten in einer ersten Lernplattform, in der die wichtigsten (physikalischen) Eigenschaften der Phasen in chromatographischen Prozessen notiert werden sollten (**vgl. Lernplattform 1 von 2 im Unterrichtsentwurf**).

b) Wir spielen Detektiv - Die Aufdeckung eines Betruges?

In **Versuch 9 (Teil 2)** sollen sich die Schüler der gemischten Lerngruppe als kleine Detektive betätigen. Es soll herausgefunden werden, ob sich gasförmige Alkane in handelsüblichem Feuerzeuggas befinden und wenn ja, um welche Gase es sich genau handelt. Der Hersteller macht hierzu die Angabe, dass sich **Butan als Hauptbestandteil in Feuerzeuggas** befinden soll. Mit Hilfe der schon aus der vorhergehenden Stunde bekannten Gas-Chromatographie soll dies hier überprüft werden. Die Funktionsweise und die Durchführung des Versuches wurde schon in **Versuch 9 (Teil 1)** einführend an einem praktischen Beispiel der Trennung eines gasförmigen Alkan-Gemischs erläutert. Deshalb sollten die Schüler nun mit Unterstützung des Lehrers in einem weiteren Lehrer-Schüler-Versuch in der Lage sein, Feuerzeuggas qualitativ zu analysieren. Das während des Versuches aufgenommene **Gas-Chromatogramm** wird nach Beendigung des Experiments mit dem erstellten Gaschromatogramm aus der letzten Stunde, sowie weiteren Referenz-Chromatogrammen verglichen. Es stellt sich heraus, dass der **Peak des Butanes** der Referenz-Chromatogramme nicht mit dem neu erstellten Butan-Peak des Feuerzeuggas-Chromatogramms zur Deckung zu bringen ist. Das erhaltene Chromatogramm gibt daher Zweifel auf, ob sich wirklich Butan in der Feuerzeuggas-Flasche befindet, wie es die Herstellerangaben auf dem Behältnis angeben.

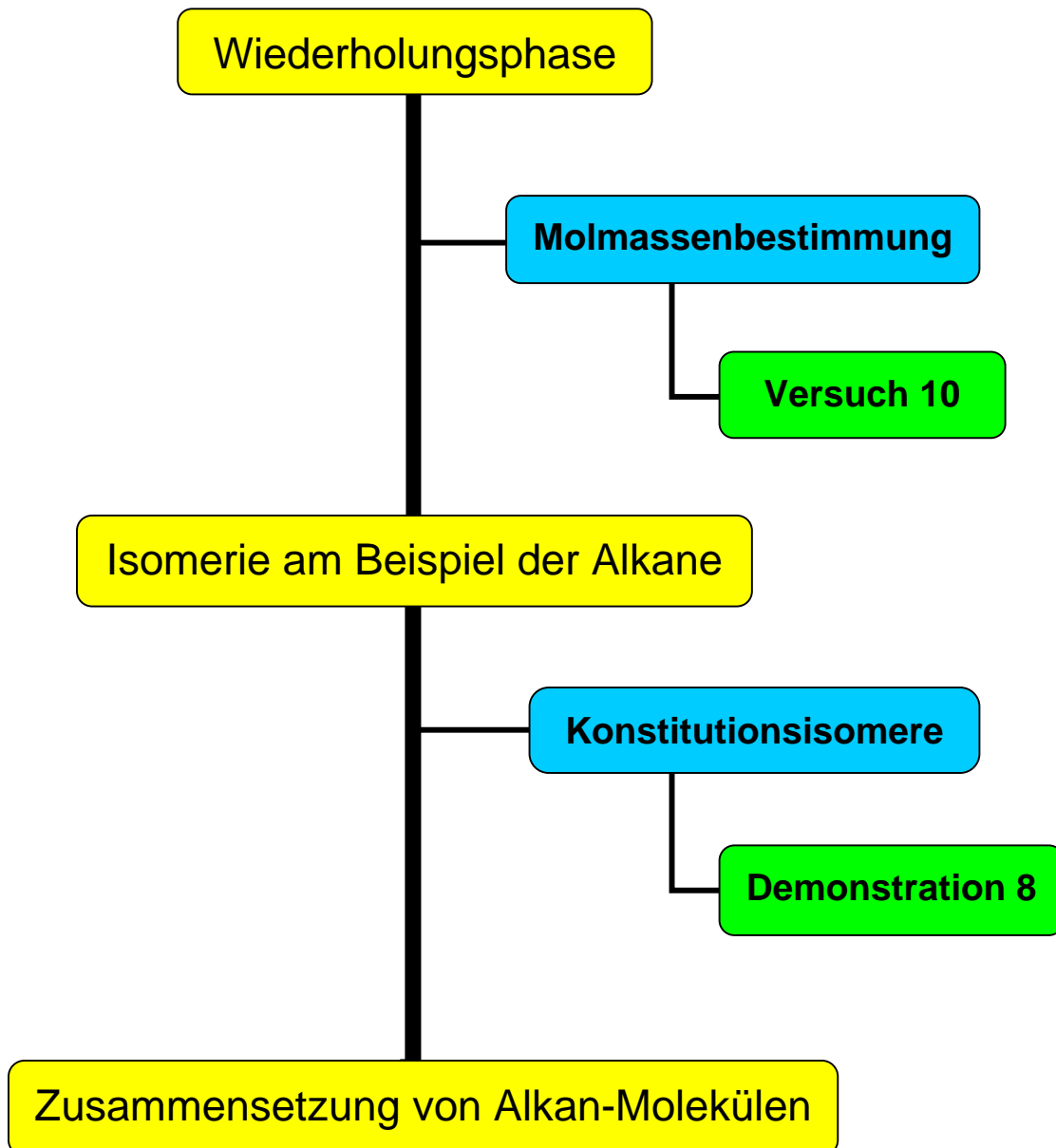
Mit diesem Gedanken im Hinterkopf fordert der Lehrer die Schüler dann zu einer weiteren Stillarbeitsphase auf, in der sie sich überlegen sollen, wie man überprüfen könnte, ob die Herstellerangaben korrekt sind oder nicht. Schnell werden einige Schüler darauf kommen, eine quantitative Analyse von Feuerzeuggas durchzuführen. Es eignet sich

die bereits kennengelernte Methode der **Bestimmung der Molaren Massen** von Feuerzeuggas und reinem Butan nach *Avogadro* (vgl. **Versuch 7 in Anhang 21.8**). Diese Werte sollen dann auch in der nächsten Stunde in einem aufbauenden Versuch ermittelt und verglichen werden. Eine zweite Lernplattform sichert dann zu guter letzt die Ergebnisse der chromatographischen Untersuchung von Feuerzeuggas. In dieser Lernplattform sollte auch das weitere Vorgehen in der Analyse von Feuerzeuggas durch **Ermittlung der Molaren Masse nach Avogadro** Erwähnung finden (vgl. **Lernplattform 2 von 2 im Unterrichtsentwurf**).

Am Ende der Stunde wird nochmals das weitere Vorgehen konkretisiert, wobei die **Motivation** durch Überprüfung der Richtigkeit der Herstellerangaben schon gegeben ist. Die Bestimmung der Molaren Masse von Feuerzeuggas im Vergleich mit Butan als angeblicher Hauptbestandteil des Feuerzeuggases wird dabei Aufschluss geben.

19 Elfte Stunde: Einführung der Isomerie am Beispiel der Alkane

Der Fahrplan für die elfte Stunde



19.1 Der Unterrichtsentwurf der elften Stunde

SCHÜLER Wiederholungsphase

Zeit

0

Zeitansatz: 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- **Gaschromatographische Untersuchung von Feuerzeuggas**
- **Quantitative Analysemethode organischer Verbindungen durch Bestimmung der Molaren Masse**

LEHRER Unterrichtsgespräch

3

Bei der gaschromatographischen Untersuchung von Feuerzeuggas hat man gesehen, dass sich die Chromatogramme von Butan und Feuerzeuggas nicht zur Deckung bringen lassen. Jedoch ist **Butan als Hauptbestandteil des Feuerzeuggases** neben Methan-, Ethan- und Propan-Gas auf dem Behältnis des käuflichen Feuerzeuggases vom Hersteller angegeben. Zur weiteren Überprüfung des Sachverhaltes sollen nun die Molaren Massen von Feuerzeuggas und Butan ermittelt werden.

SCHÜLER Lehrer-Schüler-Versuch

Versuch 10: Bestimmung der Molaren Masse von Feuerzeuggas im Vergleich zu Butan mittels Wägung

Zeitansatz: 15 Minuten

Versuchsdurchführung:

Das Gewicht von jeweils 100 mL **Feuerzeuggas** und **Butan** wird mittels einer Digitalwaage bestimmt. Man ermittelt über die **Avogadro-Gleichung** die **Molare Masse** von Feuerzeuggas und Butan und vergleicht beide Werte.

Ergebnis:

Die Molaren Massen von Feuerzeuggas und Butan stimmen mit $59,51 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ für **Feuerzeuggas** und $60,73 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ für **Butan** in etwa überein.

LEHRER Unterrichtsgespräch

18

Einführung der Isomere von organischen Verbindungen

Feuerzeuggas muss aufgrund der Bestimmung der Molaren Masse Butan enthalten. Dieses Butan besitzt andere physikalische Eigenschaften als das bekannte **n-Butan**, da die gaschromatographische Untersuchung aus der vorhergehenden Stunde Unterschiede im Funktionsverlauf der aufgenommenen Kurven aufgezeigt hat.

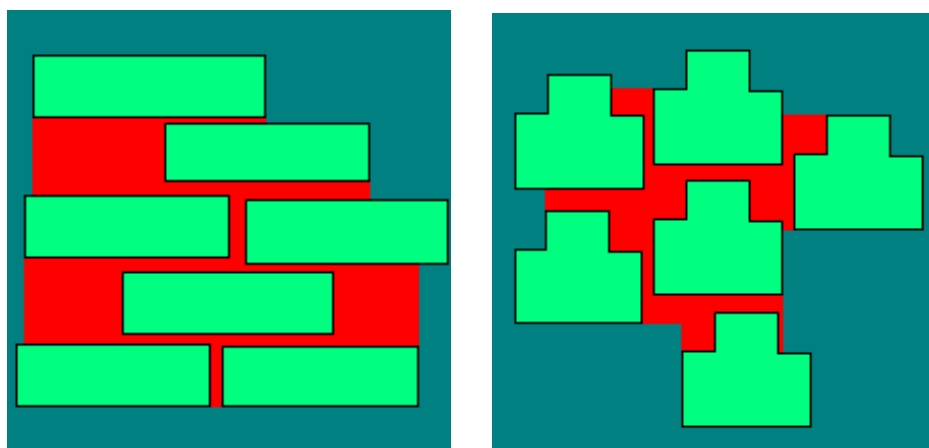


Bild 19.1: n-Butan- und iso-Butan-Moleküle

Das im Feuerzeuggas befindliche Isomer des n-Butans wird als **iso-Butan** bezeichnet. Die **n-Butan-Moleküle** halten aufgrund ihrer **langkettigen (aliphatischen)** Anordnung stärker zusammen als die verzweigten **iso-Butan-Moleküle**. Das zeigt sich zum einem an dem niedrigeren Siedepunkt von **-11,7 °C** des **iso-Butans** gegenüber **-0,5 °C** bei **n-Butan**, aber auch an der **kürzeren Durchlaufzeit** des iso-Butans gegenüber dem n-Butan im chromatographischen Trennungsprozess. Als **Isomere** bezeichnet der Chemiker Verbindungen mit gleicher Summenformel, welche sich in ihrer Struktur

unterscheiden:

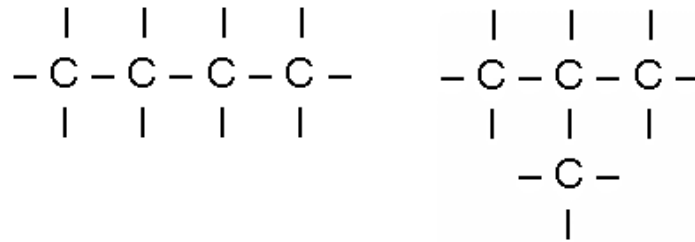


Bild 19.2: n-Butan und Methylpropan (iso-Butan)

SCHÜLER Lernplattform 1 von 3

23

Isomere Formen

Das im Feuerzeuggas befindliche **Isomer** des n-Butans wird als **iso-Butan** bezeichnet. Als **Isomere** bezeichnet der Chemiker Verbindungen mit gleicher Summenformel, welche sich in ihrer Struktur unterscheiden.

LEHRER informativer Lehrervortrag

25

Die Isomerie ist ein weiterer Grund für die Vielzahl organischer Verbindungen. Wir unterscheiden dabei drei Hauptkategorien:

1. **Konstitutions-Isomere**
2. **Stereo-Isomere**
3. **Konformations-Isomere**

Zunächst betrachten wir nur die **Konstitutions-** und **Konformations-Isomere**, da diese Formen unmittelbaren Einfluss auf die Chemie der Alkane besitzen.

Konstitutions-Isomere

Konstitutions-Isomere (lat. constituere = errichten) sind Verbindungen mit gleicher Summenformel, die sich durch die Art der Zusammensetzung ihrer elementaren Bestandteile unterscheiden. Ein Beispiel haben wir bereits bei Betrachtung von **n-Butan** und dem im Feuerzeuggas befindlichen **iso-Butan** kennengelernt. Man nennt diese Form der Konstitutions-Isomerie auch **Stellungsisomerie**.

SCHÜLER Lernplattform 2 von 3

30

Isomerie-Formen

Konstitutions-Isomere sind Verbindungen mit gleicher Summenformel, die sich durch die Art der Zusammensetzung ihrer elementaren Bestandteile unterscheiden.

Beispiel: n-Butan und iso-Butan sind sogenannte Stellungsisomere.

SCHÜLER „Entdeckendes Lernen“

32

Demonstration 8: Die Konstitutions-Isomere von Hexan

Zeitansatz: 10 Minuten

Aufgabe: Finde alle **Konstitutions-Isomere** von Hexan.

Hilfsmittel:

- CVK™-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)

Durchführung:

Anhand des Molekülbaukastens sollen alle **Konstitutions-Isomere** des Hexan-Moleküls erstellt werden.

Ergebnis:

Es existieren **fünf Isomere** des Hexan-Moleküls der Summenformel C_6H_{14} :

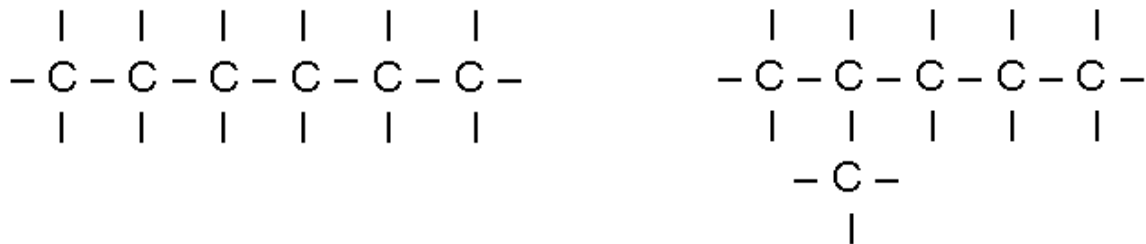


Bild 19.3: n-Hexan und 2-Methyl-pentan

,

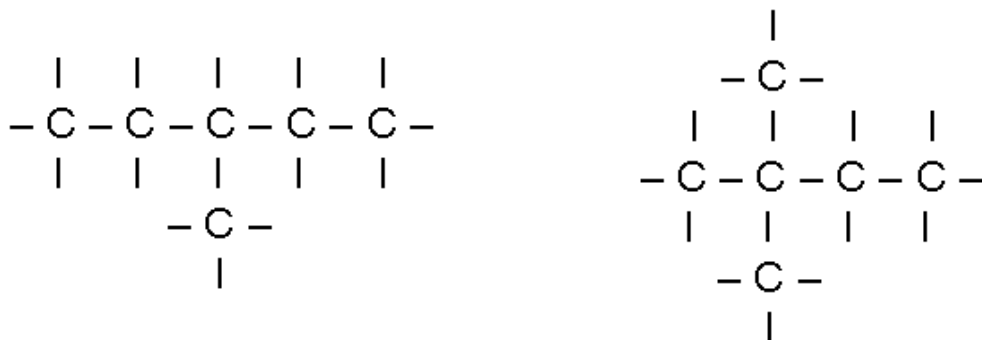


Bild 19.4: 3-Methyl-pentan und 2,2-Di-methyl-butan

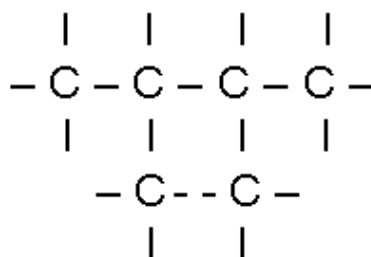


Bild 19.5: 2,3-Di-methyl-butan

Das Hexan-Molekül besitzt fünf verschiedene Isomere:

n-Hexan

2-Methyl-pentan

3-Methyl-pentan

2,2-Di-methyl-butan

2,3-Di-methyl-butan

Sie unterscheiden sich nur durch die Art der Zusammensetzung ihrer elementaren Bestandteile und sind deshalb **Konstitutions-Isomere**.

In der nächsten Stunde soll die **IUPAC-Nomenklatur** der Isomere, sowie als weitere Form die **Stereoisomerie**, am Beispiel des bekannten **Ethan-Moleküls** betrachtet werden.

19.2 Didaktische und methodische Betrachtung der elften Stunde

Die Stunde wird von einer kurzen Wiederholungsphase eingeleitet, in der nochmals der Versuch der chromatographischen Untersuchung von Feuerzeuggas im Vergleich zu Butan seitens der Schüler reproduziert werden soll. Um nun auf die genauen Bestandteile von Feuerzeuggas einzugehen, sollte den Schülern an dieser Stelle die quantitative Analysemethode organischer Verbindungen durch **Bestimmung der Molaren Masse nach Avogadro** aus der siebten Stunde des Unterrichtsentwurfes ins Gedächtnis gerufen werden.

a) Auf der Spur des Butanes

Ein vom Lehrer geleitetes Unterrichtsgespräch führt die gemischte Lerngruppe auf den notwendig folgenden Versuch zur **Bestimmung der Molaren Masse von Feuerzeuggas durch Wägung**. Dabei gibt der Lehrer basierend auf den Ergebnissen aus der letzten Stunde die Zielrichtung der Überprüfung der Herstellerangaben auf der Feuerzeuggas-Flasche vor, sodass der Sinn des Versuches verstärkt herausgestellt wird. Diese Überprüfungsphase hat, wie schon in der Betrachtung der vorherigen Stunde gesehen, einen sehr spannenden Charakter, da sich jeder Schüler aufgrund von Unwissenheit viele Gedanken über das vorliegende Problem macht und sich durch Anwendung gaschromatographischer, sowie messtechnischer Analytik als kleiner Hobbydetektiv betätigt. Das gibt einem sehr stoffintensiven Unterricht den gewissen Anreiz, den er braucht und integriert die Schülergruppe sehr stark in die Diskussion über die vorliegende Stoffchemie. Der Versuch der quantitativen Analyse von Feuerzeuggas durch Molmassenbestimmung wird mit Hilfe einer Wägung eines bestimmten Volumens des Gases über eine **Digitalwaage** durchgeführt. Ausgehend von den bekannten Berechnungen nach **Avogadro**, welche die Schüler schon in der siebten Stunde kennengelernt haben, wird dann aus der bestimmten Masse des Gasvolumens, am besten aus einer Differenz zweier Wägungen durch Abzug eines bestimmten Gasvolumens (hier 100 mL) die Molare Masse von Feuerzeuggas bestimmt. Danach ermitteln die Schüler auf die gleiche Weise die Molare Masse von Butan und vergleichen die erhaltenen Ergebnisse miteinander. Bei der Durchführung des Experimentes können die sehbehinderten Schüler das Ablesen der Masse auf einer Digitalwaage durch geeignete Vergrößerung über den Großbildschirm übernehmen. Wenn man als Lehrer eine sprechende Waage besitzt, können die Werte sogar von allen, auch von blinden Schülern, direkt aufgenommen werden. Die blin-

den Schüler wären so nicht von den sehbehinderten Schülern abhängig, was, wie in vorigen didaktischen Betrachtungen bereits erwähnt, integrativ zu werten wäre. Ist keine sprechende Waage vorhanden, so sollten die Aufgaben des Versuches mehr oder weniger gerecht verteilt sein. Die blinden Schüler können dann mit Hilfe der von den sehbehinderten Schülern abgelesenen Werte der Massenbestimmung am PC die Molaren Massen ausrechnen, sodass auch die sehbehinderten Schüler in ein passives Abhängigkeitsverhältnis gegenüber ihren blinden Mitschülern treten, ganz nach dem Motto „**einer für alle und alle für einen**“, wie es schon einst der große französische Schriftsteller *Alexandre Dumas* zu sagen pflegte. Als Ergebnis werden die Schüler bei gelungener Durchführung herausfinden, dass sich beide Werte der Molaren Massen fast decken. Es muss sich also doch eine Art Butan als Hauptbestandteil im Feuerzeuggas befinden. In einer kurzen Diskussionsphase im Anschluss an diesen etwa 15-minütigen Versuch wird dieses Phänomen näher beleuchtet, indem der Lehrer zunächst die Lösungsvorschläge der Schüler überprüfen sollte.

b) Einführung der Isomerie - Die Auflösung des Etikettenschwindels

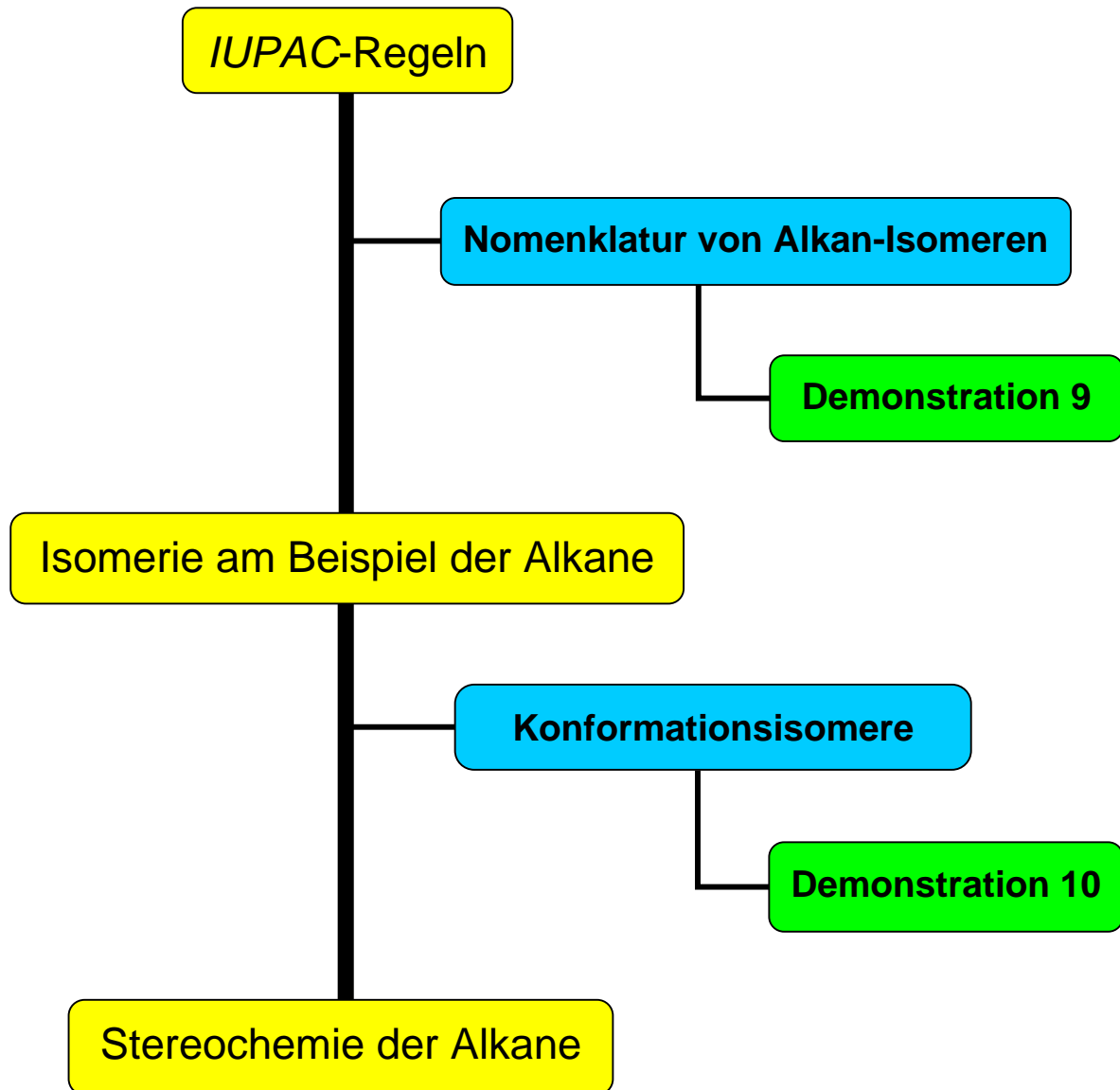
Wird von den Schülern keine geeignete Lösung des Problems gefunden, postuliert der Lehrer anschließend einfach, dass ein **isomeres Butan im Feuerzeuggas** vorliegt. In einer kurzen Einführungsphase stellt er dann die beiden isomeren Formen des Butan-Moleküls anhand geeigneter Molekül-Modelle vor. Die Modelle sollten dann zur näheren Untersuchung einmal in der gesamten Gruppe durchgereicht werden. Hier sollte der Lehrer den Grund für das unterschiedliche physikalische Verhalten beider isomerer Formen erläutern. Die unterschiedlichen Werte für den **Siedepunkt** in Verbindung mit den **unterscheidbaren Gaschromatogrammen** werden dabei zur Erklärung hilfreich sein. Für sehbehinderte Schüler bieten sich zwei kurze Grafiken an, aus denen man die Stärken der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen n-Butan- bzw. iso-Butan-Molekülen abschätzen kann. Die allgemeine **Definition von Isomeren** in der Chemie leitet dann die neue Lernphase des dreidimensionalen Strukturdenkens aufbauend **auf die tetraedrische Elektronendichteverteilung** des Kohlenstoffatoms ein. Eine erste Lernplattform sichert zum einen die Ergebnisse des Versuches zu Anfang der Stunde, zum anderen sollte hier auch die allgemeine Definition von Isomerie nochmals ausformuliert werden (**vgl. Lernplattform 1 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Nach dieser Sicherungsphase stellt der Lehrer zunächst die Isomerenbildung als weiteren Grund, neben der schon in der zweiten Stunde erfahrenen Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms, für die Vielzahl organischer Verbindungen heraus. Danach gibt er eine kurze Übersicht über die drei wichtigen Hauptgruppen der Isomere, die **Konstitutions-**, die **Stereo-** und die **Konformations-Isomere**. Er entscheidet sich aufgrund des noch sehr geringen Vorwissens bezüglich der Organischen Chemie auf die Einschränkung dieser Thematik, sodass im Weiteren nur auf die **Konstitutions-Isomerie** eingegangen wird, welche in unmittelbarem Zusammenhang mit den Alkanen steht. In der folgenden Stunde wird er weiterhin auf die Konformations-Isomerie eingehen, die Stereo-Isomerie sollte erst bei Besprechung der ungesättigten Kohlenwasserstoffe betrachtet werden.

Am Beispiel der schon im Versuch betrachteten Verbindungen **n-Butan** und **iso-Butan** (Feuerzeuggas) sollte die Definition der vorliegenden Isomerieform zusammen mit der gemischten Lerngruppe hergeleitet werden. Die spezielle Form der **Stellungs-Isomerie** ist hier auf jeden Fall präzisierend im Hinblick auf späteren Unterricht einzuführen, da die **Funktions-Isomerie**, sowie die **Tautomerie** als weitere Formen der Konstitutions-Isomerie noch im kommenden Unterricht besprochen werden müssen. Eine zweite Lernplattform sichert die Definition der Konstitutions-Isomerie und nennt nochmals die Isomere von Butan. Diese sind den Schülern schon seit zwei Schulstunden als Bezugstoffe gut bekannt, wurden jedoch erst in dieser Stunde als solche von ihnen selbst aufgeklärt (**vgl. Lernplattform 2 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

An diese kurze Einführungsphase der Isomerie-Formen in der Organischen Chemie kann sich eine **festigende Stillarbeitsphase** des „Entdeckenden Lernens“ an den Molekül-Modellen anschließen. In dieser etwa zehnminütigen Gruppenarbeit sollen die Schüler alle **Konstitutions-Isomere von Hexan** praktisch konstruieren. Erlerntes Wissen wird somit direkt angewandt und eben dadurch gefestigt. Neben dem der Lerngruppe bekannten n-Hexan (**vgl. Kapitel 12.1 Der Unterrichtsentwurf der fünften Stunde**) gibt es vier weitere isomere Formen des Hexan-Moleküls, nämlich **2-Methyl-pentan**, **3-Methyl-pentan**, **2,2-Di-methyl-butan** und **2,3-Di-methyl-butan**. Sie alle besitzen die gleiche Summenformel, aber eine unterschiedliche Art der Zusammensetzung. Die Ergebnisse der Stillarbeit sollten in einer kurzen Diskussionsphase gesammelt werden, um sie danach in einer weiteren Lernplattform sichern zu können (**vgl. Lernplattform 3 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Den Abschluss der Stunde bildet ein Ausblick auf die kommende zwölfte Stunde, in der die **IUPAC-Nomenklatur** der Isomere, sowie als weitere Form der Isomerie die **Stereoisomerie**, am Beispiel des bekannten **Ethan-Moleküls** betrachtet werden soll.

20 Zwölfte Stunde: Die Stereoisomerie - Eine Herausforderung**Der Fahrplan für die zwölfte Stunde**

20.1 Der Unterrichtsentwurf der zwölften Stunde

SCHÜLER Wiederholungsphase

Zeit

0

Zeitansatz: 3 Minuten

Die Schüler sollten hierbei folgende Lernziele erreichen:

- Bestimmung der Molaren Masse von Butan- und Feuerzeuggas
- Isomerie
- Konstitutionsisomerie am Beispiel des Hexan-Moleküls

LEHRER informativer Lehrervortrag

3

Leifrage: Wie kann man die einzelnen Isomere des Hexan-Moleküls nach den *IUPAC*-Regeln benennen?

Zur Benennung der Isomere von Alkanen gibt die *IUPAC* verschieden gewichtete Regeln vor, nach denen eine allgemeine Differentiation möglich ist:

1. Die längste Kette von Kohlenstoffatomen (**Hauptkette**) bildet den **Stammmamen** der Verbindung.
2. Dem Stammmamen werden die Namen aller im Molekül vorhandenen **Seitenketten** vorangestellt. Die Namen der Seitenketten ergeben sich aus den *IUPAC*-Namen der Alkane, indem man die Endung **-an** durch die Endung **-yl** ersetzt.
3. Die Verknüpfungsstellen der Haupt- und Seitenketten werden durch **Nummerierung** der in der Hauptkette befindlichen Kohlenstoffatome im Namen der Verbindung angegeben.
4. Die verschiedenen Seitenketten werden **alphabetisch geordnet**. Dabei nimmt man keine Rücksicht auf Zahlwörter und Vorsilben.

IUPAC-Regeln zur Nomenklatur von Isomeren

Zur Benennung der Isomere von Alkanen gibt die *IUPAC* verschieden gewichtete Regeln vor, nach denen eine allgemeine Differentiation möglich ist:

- 1.** Die längste Kette von Kohlenstoffatomen (**Hauptkette**) bildet den **Stammmamen** der Verbindung.
- 2.** Dem Stammmamen werden die Namen aller im Molekül vorhandenen **Seitenketten** vorangestellt. Die Namen der Seitenketten ergeben sich aus den **IUPAC**-Namen der Alkane, indem man die Endung **-an** durch die Endung **-yl** ersetzt.
- 3.** Die Verknüpfungsstellen der Haupt- und Seitenketten werden durch **Nummerierung** der in der Hauptkette befindlichen Kohlenstoffatome im Namen der Verbindung angegeben.
- 4.** Die verschiedenen Seitenketten werden **alphabetisch geordnet**. Dabei nimmt man keine Rücksicht auf Zahlwörter und Vorsilben.

Demonstration 9: Anwendung der *IUPAC*-Regeln**Zeitansatz: 5 Minuten****Aufgabe: Wende die gelernten *IUPAC*-Regeln am Beispiel des folgenden Hexan-Isomers an.**

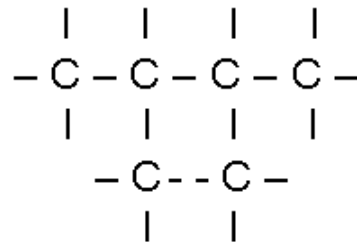


Bild 20.1: 2,3-Di-methyl-butan

Ergebnis:

Am Beispiel der Verbindung **2,3-Di-methyl-butan** sieht das folgendermaßen aus:

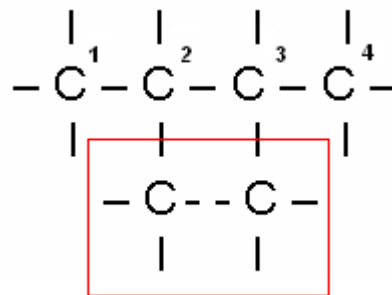


Bild 20.2: Bestimmung des Namens von 2,3-Di-methyl-butan

1. Die längste Kohlenstoffkette, eine Kette mit vier Kohlenstoffatomen, bildet hier den Stammnamen, also **Butan**.
2. An der Hauptkette befinden sich zwei weitere Seitenketten, hier rot markiert. Diese haben jeweils ein Kohlenstoffatom, deshalb leitet sich ihr Name vom bekannten Methan ab. Man ersetzt die Endung **-an** durch die Endung **-yl** und erhält zwei **Methyl**-Gruppen, also **Di-methyl**.
3. Die beiden Seitenketten sitzen an den Kohlenstoffatomen 2 und 3 der Hauptkette, also **2,3-Di-methyl**.
4. Da hier nur Methyl-Gruppen als Seitenketten vorliegen, erhält man den Namen der Verbindung: **2,3-Di-methyl-butan**.

Information: An dieser Stelle können weitere Alkane anhand von Modellen nach der *IUPAC*-Nomenklatur benannt werden.

LEHRER informativer Lehrervortrag

18

Es existieren außer den Stellungen-Isomeren noch weitere Konstitutions-Isomere, wie die **Funktions-Isomere** oder die **Protonen-Isomere**, auch **Tautomere** genannt. Auf diese Formen der Konstitutions-Isomere soll zu gegebener Zeit eingegangen werden.

Konformations-Isomere

Konformations-Isomere (lat. *conformatio* = Gestalt) sind Verbindungen mit gleicher Summenformel und gleicher Zusammensetzung ihrer elementaren Bestandteile, die durch **Drehung um C-C-Einfachbindungen** ineinander überführbar sind. Sie unterscheiden sich lediglich in der räumlichen Anordnung ihrer Atomgruppen um Einfachbindungsachsen.

SCHÜLER Lernplattform 2 von 3

22

Isomerie-Formen

Konformations-Isomere sind Verbindungen mit gleicher Summenformel und gleicher Zusammensetzung ihrer elementaren Bestandteile, die sich durch Drehung um C-C-Einfachbindungen ineinander überführen lassen.

LEHRER informativer Lehrervortrag mit Modelleinsatz

24

Als Beispiel kann man das **Ethan-Molekül**, die einfachste organische Verbindung mit nur einer C-C-Einfachbindung, betrachten. Um das Ethan-Molekül auf dem Papier zeichnerisch in eine räumliche Darstellung bringen zu können, bedient man sich dem Einsatz der **Keilstrichformel**.

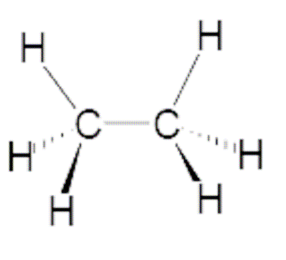


Bild 20.3: Keilstrichformel des Ethan-Moleküls

Bei dieser Form werden alle Bindungsverhältnisse, welche sich in einer Ebene befinden, in der schon bekannten Strichschreibweise dargestellt, wie man es aus der rein zweidimensionalen Darstellung kennt. Um nun eine Räumlichkeit in das Ethan-Molekül zu bekommen, zeichnet man das Molekül so, dass sich jeweils eine C-H-Einfachbindung in der Papierebene befindet und die anderen beiden C-H-Einfachbindungen der beiden Methyl-Endgruppen einmal vor die Papierebene durch einen **dickeren Keilstrich** und einmal hinter der Papierebene durch eine **gestrichelte Linie** gezeichnet werden.

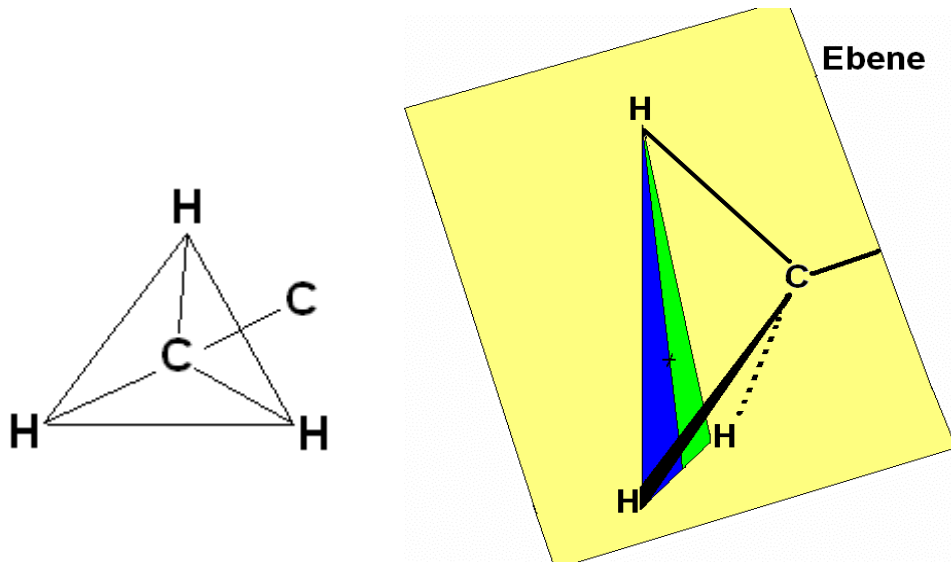


Bild 20.4: Zeichnerische Darstellung der dreidimensionalen Struktur des Ethan-Moleküls

Hierbei orientiert man sich am entstehenden 60° -Winkel der zweidimensionalen Draufsicht auf das jeweilige Dreiecksende des Ethan-Moleküls.

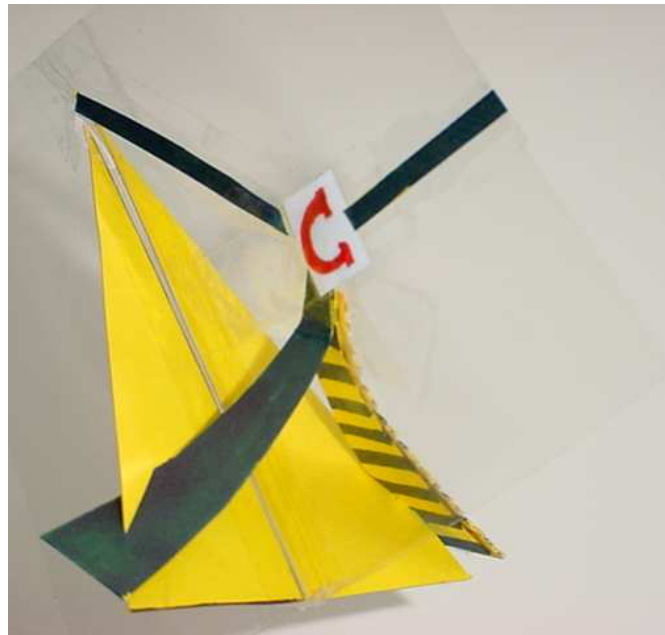


Bild 20.5: Modell zur Übertragung eines sp^3 -hybridisierten Kohlenstoffatoms auf die zweidimensionale Papierebene

Zur besseren Sichtbarkeit der räumlichen Stellungen beider Methyl-Endgruppen zueinander bedient man sich in der Chemie der sogenannten **Newman-Projektion**, bei der man direkt auf die Flucht der C-C-Einfachbindung schaut. Dabei wird die C-C-Einfachbindung des Ethan-Moleküls als Kreisscheibe betrachtet.

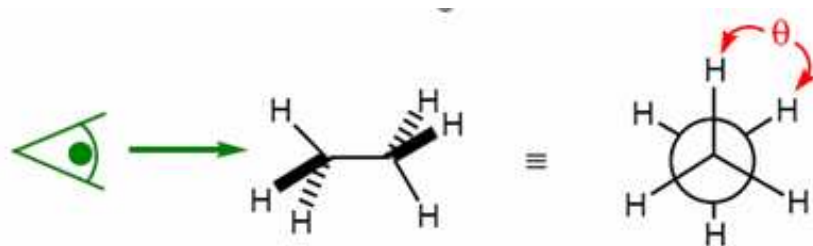


Bild 20.6: Keilstrichschreibweise und Newman-Projektion

Wichtig für die Bezeichnung der einzelnen Konformations-Isomere ist jetzt die Betrachtung des **Diederwinkels θ** zwischen den Methyl-Endgruppen, wobei man jeweils eine bezeichnende C-H-Einfachbindung der Methyl-Endgruppen und deren

Stellung zueinander betrachtet. Bei Drehung des Ethan-Moleküls um die C-C-Einfachbindung ergeben sich zwei ausgezeichnete Lagen. Zum einen die **verdeckte** oder auch **ekliptische Konformation**, bei der sich alle C-H-Einfachbindungen direkt hintereinander befinden. Diese Anordnung ist energetisch sehr ungünstig, kann jedoch durch Drehung um die C-C-Einfachbindung um 60° in die energetisch günstigste **offene** oder auch **gestaffelte Konformation** überführt werden.

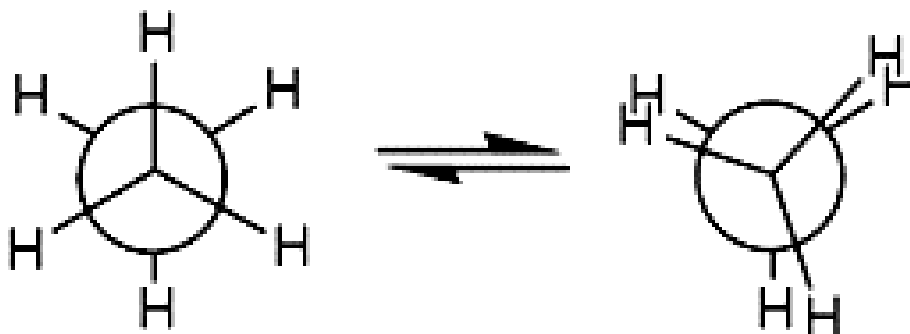


Bild 20.7: Gestaffelte und ekliptische Konformation

Der Energiegewinn bei dieser Überführung der ekliptischen in die gestaffelte Konformation ist mit etwa $13 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ enorm. Die Moleküle befinden sich jedoch in großer Bewegung, sodass die einzelnen **Konformere** nicht durch chemische oder physikalische Methoden isolierbar sind. Nimmt die Molekülgröße stark zu, so schränkt sich die freie Drehbarkeit um die einzelnen C-C-Einfachbindungen so stark ein, dass man einzelne Konformere isolieren kann. Folgende Grafik verdeutlicht die **Energiedifferenzen** zwischen ekliptischer und gestaffelter Konformation, abhängig von den Drehwinkeln:

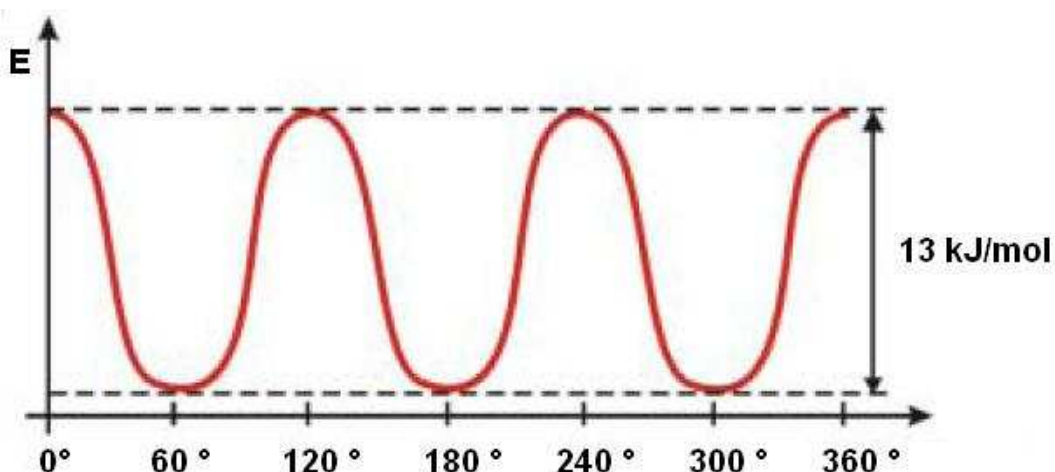


Bild 20.8: Energieunterschiede bei Rotation des Ethan-Moleküls

Darstellung einer dreidimensionalen Molekülstruktur auf dem Papier

Zur Darstellung einer dreidimensionalen Molekülstruktur auf einer zweidimensionalen Ebene behilft man sich der **Keilstrichschreibweise**, die je zwei Bindungen eines sp^3 -hybridisierten Kohlenstoffatoms in der Ebene durch normale Striche darstellt und die weiteren Bindungen durch **Keilstriche** (aus der Papierebene herausstehend) bzw. **gestrichelte Linien** (hinter der Papierebene befindlich) darstellt. Eine weitere Form ist die **Newman-Projektion** von Molekülstrukturen (**vgl. Handout bzw. Datei**).

20.2 Didaktische und methodische Betrachtung der zwölften Stunde

Die zwölfte Stunde startet wie jede Stunde mit einer kurzen Wiederholungsphase, in der sich die Lerngruppe die **quantitative Bestimmung der Molaren Masse von Feuerzeuggas durch Wägung**, sowie der aus diesem Versuch gezogenen wichtigen **Theorie der Isomeren** nochmals vor Augen führt. Einführend sollte zur Weiterarbeit die Form der **Konstitutions-Isomerie** reproduziert werden, sodass der Lehrer direkt an die Problematik der Vielzahl organischer Verbindungen anknüpfen kann.

a) Die Isomerieformen - Eine weitere Art der Kategorisierung

Zur besseren Übersicht in der Organischen Chemie ist es notwendig, wie in der fünften Stunde schon gesehen, eine Art Kategorisierung der einzelnen Verbindungen nach bestimmten Gesichtspunkten zu schaffen. Die Theorie der Isomere schafft da natürlich keine Erleichterung, da den Schüler auf einmal eine riesige Anzahl organischer Verbindungen vorgeworfen wird, die es nun erstmals zu differenzieren gilt. Ist die Anzahl an isomeren organischen Verbindungen bezüglich des in der letzten Stunde näher betrachteten Hexan-Moleküls noch überschaubar, so erkennt man bei Verlängerung der Methylen-Kette der Alkane die offensichtliche **Unüberschaubarkeit an isomeren Formen** der Alkane (Beispiel **n-Decan** hat alleine **74!** isomere Pendanten). Zur Kategorisierung dient die Nomenklatur angelehnt an verschiedenen und gewichteten **IUPAC-Regeln**, welche der Lehrer dann in einer Auflistung nennen sollte. Hierbei führt er zum ersten Mal die Begriffe der **Haupt-** und **Seitenkette** ein, sowie die sich ändernden Endungen der hier betrachteten Alkangruppen von **-an** zu **-yl**. Notiert werden sollten die vier wichtigsten **gewichteten Merkgeln** zur Nomenklatur von isomeren Kohlenwasserstoffverbindungen am Beispiel der schon bekannten Alkane (vgl. **Lernplattform 1 von 3 im Unterrichtsentwurf**). Eine weitere Möglichkeit wäre die Austeilung eines bereits von Lehrerhand erstellten **Merkblasses** oder **Datenfiles**, auf dem eben diese vier **IUPAC-Regeln** zur Nomenklatur aufgelistet sind. Das würde eine Einsparung von bis zu zehn Minuten einbringen. Es empfiehlt sich jedoch die eigenständige Erstellung von Lernplattformen, da man durch die Niederschrift eine intensivere Festigung des zu erlernenden Unterrichtsstoffs erreichen kann.

Eine sich anschließende Sicherungsphase in Form eines geleiteten Unterrichtsgesprächs überprüft, ob die Schülergruppe die gelernten Regeln auch anzuwenden

wissen. Hier wird der gemischten Lerngruppe eine isomere Verbindung, wie z.B. **2,3-Di-methyl-butan** anhand ausgeteilter Molekülmodelle vorgegeben, welche sie dann richtig bezeichnen sollen. Diese Phase sollte relativ kurz von Statten gehen. Die zunächst in Zweiergruppen herausgefundenen Lösungen sollen anschließend innerhalb der gesamten Lerngruppe auf ihre Richtigkeit hin untersucht werden. Dabei leitet der Lehrer die Schüler an, ihre Mitschüler bei der Benennung zu unterstützen und gegebenenfalls falsche Lösungen zu korrigieren. Wenn es die Zeit erlaubt können an dieser Stelle weitere Alkane anhand von Modellen nach der **IUPAC**-Nomenklatur von der gemischten Lerngruppe benannt werden.

b) Dreidimensionales Strukturdenken didaktisch optimiert

Im Anschluss an diese Stillarbeitsphase leitet der Lehrer nach einem kurzen Ausblick auf die anderen Formen der **Konstitutions-Isomere**, wie z.B. **Funktions-** oder **Protonen-Isomere (Tautomere)**, auf die zweite wichtige Form von Isomerie über, welche man im Zusammenhang mit Alkanen betrachten sollte, nämlich die **Konformations-Isomerie**. Wie in der vorherigen Stunde wird dabei zunächst die allgemeingültige Definition dieser Isomerieform genannt, wobei der Lehrer vor allem die **Drehung um C-C-Einfachbindungen** und die daraus folgenden Gestaltungen einzelner isomerer Alkane nochmals herausheben sollte. Dieses muss dann in einer zweiten Lernplattform gesichert werden (vgl. **Lernplattform 2 von 3 im Unterrichtsentswurf**).

Am Beispiel der einfachsten organischen Verbindung mit nur einer C-C-Einfachbindung, dem **Ethan-Molekül**, kann man dann die einzelnen Gestaltungen näher betrachten, welche bei Drehung um die C-C-Einfachbindungsachse entstehen können. Der Einsatz von **Ethan-Molekülmodellen** muss hier auf jeden Fall gefordert werden, um die einzelnen Konformationen als sehgeschädigter Schüler nachvollziehen zu können. Da man diese strukturellen Darstellungen von organischen Molekülen in der Chemie natürlich nicht immer nur in dreidimensionaler Gestalt zum Anfassen vorliegen hat, sollte an dieser Stelle die Überführung dreidimensionaler Erscheinungsformen in die **zweidimensionale Zeichnungsgestalt** betrachtet werden. Um das Ethan-Molekül auf dem Papier zeichnerisch in eine räumliche Darstellung bringen zu können, bedient man sich dem Einsatz der **Keilstrichformel**. Um eine Räumlichkeit auf der zweidimensionalen Zeichenebene zu bekommen, zeichnet man das Ethan-Molekül so, dass sich jeweils eine C-H-Einfachbindung an jedem Ende in

der Papierebene selbst befindet. Die anderen beiden C-H-Einfachbindungen der beiden Methyl-Endgruppen werden dann einmal vor die Papierebene, durch einen **dickeren Keilstrich** und einmal hinter der Papierebene, durch eine **gestrichelte Linie** gezeichnet. Dieser Aspekt sollte den sehbehinderten und vor allen Dingen den blinden Schülern mit einem geeigneten Modell vorgeführt werden. Hierzu eignet sich eine Folie mit aufgesetztem gleichschenkeligem Dreieck, an dessen Ecken sich jeweils die Wasserstoffatome befinden. Dieses Modell wurde in der praktischen Ausführung des Unterrichtsentwurfs der vierten Stunde eingesetzt und an allen sehbehinderten Schülern mit positiver Resonanz getestet. Sehgeschädigte Schüler können so die Umsetzung räumlicher Gestalt eines Tetraeders in eine zweidimensionale Gestalt gut nachvollziehen.

c) Projektionsarten individuell eingesetzt

Zum besseren Verständnis sollte der Lehrer vor allem für sehbehinderte Schüler auch auf die **Newman-Projektion** des Ethan-Moleküls zurückgreifen. Hier schaut man direkt auf die Flucht der C-C-Einfachbindungsachse und erhält so eine neue Betrachtungsweise des Moleküls, wobei die C-C-Einfachbindung des Ethan-Moleküls als Kreisscheibe betrachtet wird (vgl. **Bild 20.6: Keilstrichschreibweise und Newman-Projektion 248**). Zur Unterscheidung der einzelnen Konformations-Isomere betrachtet man dann den zwischen einzelnen C-H-Gruppen im Ethan-Molekül entstehenden **Diederwinkel Θ** , der hier in energetisch günstigster Anordnung (**gestaffelte Anordnung**) 60° beträgt. Durch Drehung eines Ethan-Molekülmodells durchläuft der Lehrer, am besten gemeinsam mit den Schülern, die jeder selbst ein Ethan-Molekülmodell in der Hand haben sollten, die verschiedenen wichtigen Stellungen. Dabei leitet der Lehrer die Bezeichnungen der **ekliptischen** und **gestaffelten Konformation** her und kann so auf leichte Art die Gründe für energetisch günstige bzw. ungünstige Stellungsweise aufzeigen. Danach erläutert der Lehrer kurz die schlechte Isolierbarkeit von Konformations-Isomeren kleinerer Alkan-Moleküle und gibt Gründe für die bessere Isolierbarkeit größerer Alkan-Isomere an. Eine weitere Grafik kann den sehbehinderten Schülern die aufkommenden **Energiedifferenzen** zwischen ekliptischer und gestaffelter Konformation abhängig von den Drehwinkeln nochmals verdeutlichen. Nachteilig hierbei ist natürlich die Tatsache, dass die blinden Schüler mit einer solchen Grafik nichts anfangen können und somit ein wenig benachteiligt werden. Der Lehrer muss also im Vorfeld abschätzen können, ob und wann er verdeutlichende Grafiken in einer gemischten Lerngruppe einsetzen kann. Eine dritte

Lernplattform sichert zu guter letzt die Erkenntnisse über die Projektionsarten der **Keilstrichschreibweise** bzw. der *Newman-Projektion* (vgl. **Lernplattform 3 von 3 im Unterrichtsentwurf**).

Anhang

21 Versuche und Demonstrationen

21.1 Erste Stunde: Die Demonstrationen 1 und 2

Demonstration 1: Abgrenzung der Eigenschaften organischer von anorganischen Stoffen

Zeitansatz: 25 Minuten

Chemikalien:

Orangen

Zucker

Ethanol F

R11 Leichtentzündlich

S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S7 Behälter dicht geschlossen halten

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

Holzbrett

Orangenaromastoff

größeres Stück Sedimentgestein (Steinsalzlager Staßfurt)

Natriumchlorid (gekörnt)

Gips (Baumarkt)

Modellhäuschen

Sand vom Nordseestrand

Glasflasche

Geräte:

2 große Petrischalen Ø 15 cm

2 Schnappdeckelgläser jeweils mit durchbohrtem Loch im Verschluss

Obstschale

Kamera-System mit Großbildübertragung

Lupen

*Optophon*TM

Durchführung:

Auf dem Lehrerlabortisch werden die oben genannten Stoffe **Orangen** in einer Obstschale, **Zucker** in einer großen Petrischale, **Ethanol** in einem Schnappdeckelglas, ein **Holzbrett**, **natürliches Orangenaroma** in einem weiteren Schnappdeckelglas, ein größeres Stück **Sedimentgestein**, **Natriumchlorid** in einer zweiten großen Petrischale, **Gips** aus dem Baumarkt mit geöffneter Verpackung, ein **Modellhäuschen**, ein Säckchen **Sand** vom Nordseestrand und eine **Glasflasche** in wahlloser Anordnung verteilt. Die Verteilung sollte dabei nicht zu großzügig sein, da sonst sehgeschädigte Schüler den Überblick über die Gesamtheit der dargebotenen Stoffe verlieren können.

Aufgaben:

1.) Ordne die Stoffe den beiden vorgegebenen Stoffklassen

„**Organische Stoffe - Lebendstoffe**“ und
„**Anorganische Stoffe - tote Materie**“ zu.

2.) In welcher Beziehung stehen die einzelnen Komponenten innerhalb der eingeteilten Stoffklassen zueinander?

3.) Kläre im **Schüler-Schüler-Gespräch**, anhand physikalischer Eigenschaften der Stoffe, wie z.B. Geruch, Brennbarkeit etc., warum du dich für diese genaue Einteilung entschieden hast.

Beobachtung und Auswertung:

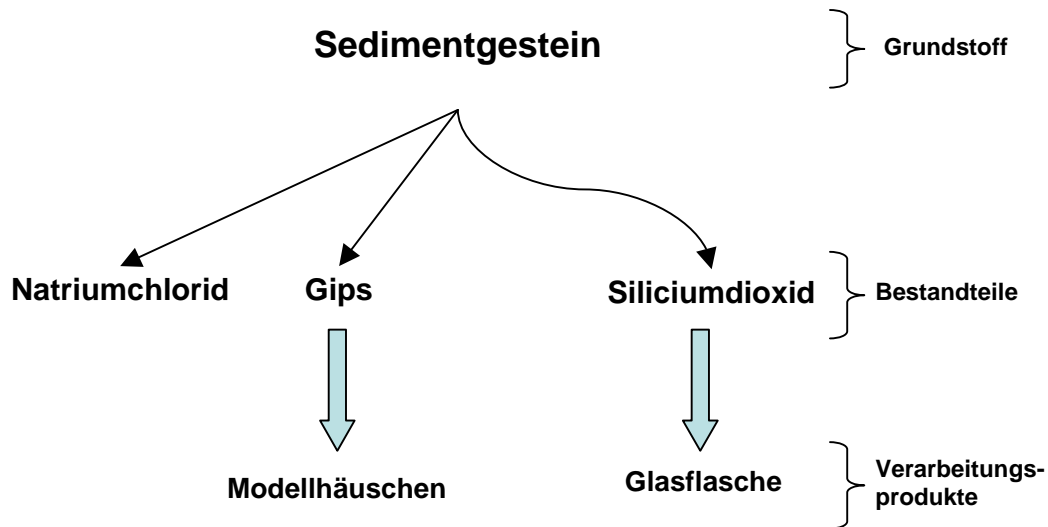
Aufgabe der Lerngruppe ist es, die Dinge auf dem Labortisch in zwei Hauptgruppen zu unterteilen. Die Einteilung in die zwei Kategorien „**Organische Dinge**“ und „**Anorganische Dinge**“ wird dazu vom Lehrer vorgegeben. Dabei leitet der Lehrer die Schüler an, nach bestimmten analogen Eigenschaften der Stoffe zu suchen. Diese Eigenschaften sollen die Schüler zum einen mit den eigenen Sinnen wahrnehmen und zum anderen aufgrund ihres Hintergrundwissens aus dem vergangenen Chemieunterricht herleiten. Dazu können Hilfsmittel wie ein Kamera-System mit Großbildschirm und Lupen für sehbehinderte Schüler und das **Optophon**TM für blinde Schüler eingesetzt werden. Sind eigenschaftliche Gemeinsamkeiten gefunden, so werden die Stoffe, bei denen Gemeinsamkeiten entdeckt wurden,

derselben „**Stoffklasse**“ zugeordnet.

Nach dieser Grobeinteilung teilt der Lehrer die Schülerschaft in zwei Gruppen ein, eine „**Organische Gruppe**“ und eine „**Anorganische Gruppe**“. Die Mitglieder der einzelnen Gruppen sollen sich nun Gedanken machen, wie man die beiden so eingeteilten Stoffklassen nochmals unterteilen könnte. Eine mögliche Einteilung ist auf der nächsten Seite einzusehen (vgl. **Bild 21.1: Einteilung der Stoffe in die Anorganische und die Organische Gruppe auf Seite 258**). Hierbei zeigen die geraden Pfeile an, welche **Bestandteile** aus den eingesetzten **Grundstoffen**, direkt durch geeignete **chemische** oder **physikalische Methoden** gewonnen werden können. Die geschweiften Pfeile geben an, welche Stoffe noch zusätzlich in unmittelbarer Nähe der Grundstoffe (**Aromastoffe** in der Schale von Orangen, **Siliciumdioxid** in Sedimentböden) vorhanden sind. Am Schluss jedes der beiden Diagramme sind einige **Produkte** aufgeführt, welche man aus den bereits gewonnenen Bestandteilen der Grundstoffe erhalten könnte. Es ist bei der Auswahl der in der Demonstration eingesetzten Stoffe darauf zu achten, dass all diese Dinge den Schülern wohl bekannt sind. Nach dieser zweiten Phase der Feineinteilung der Hauptgruppen, sollen sich die Schüler der einzelnen Gruppen eine Art Plädoyer für ihre Grobeinteilung überlegen, um dieses dann vor der gesamten Klasse vortragen zu können. Die Ergebnisse werden im Anschluss an diese Vorstellungsphase im Plenum diskutiert.

Das Lernen der Kategorisierung von Verbindungen mit gleichen Eigenschaften spielt auch in der Organischen Chemie eine große Rolle. Hier werden unter anderem die verschiedenen funktionellen Gruppen unterschieden, welche so eine überschaubare Ordnung in die Vielzahl der Substanzen bringen. Sehgeschädigte Schüler haben hier die Chance diese Einteilungen der Stoffe für sich selbst nutzen zu können, um nicht den Überblick über das Gros der bekannten organischen Verbindungen zu verlieren. In dieser Demonstration kommt es vor allem darauf an, zum einen anorganische Stoffe von organischen zu trennen und zum zweiten, dass sie lernen eine Einteilung von Stoffen als nützlichen Rahmen kennenzulernen, indem sie in dieser Demonstration versuchen, dieses Handwerkzeug gut abzuwägen.

„Anorganische“ Gruppe



„Organische“ Gruppe

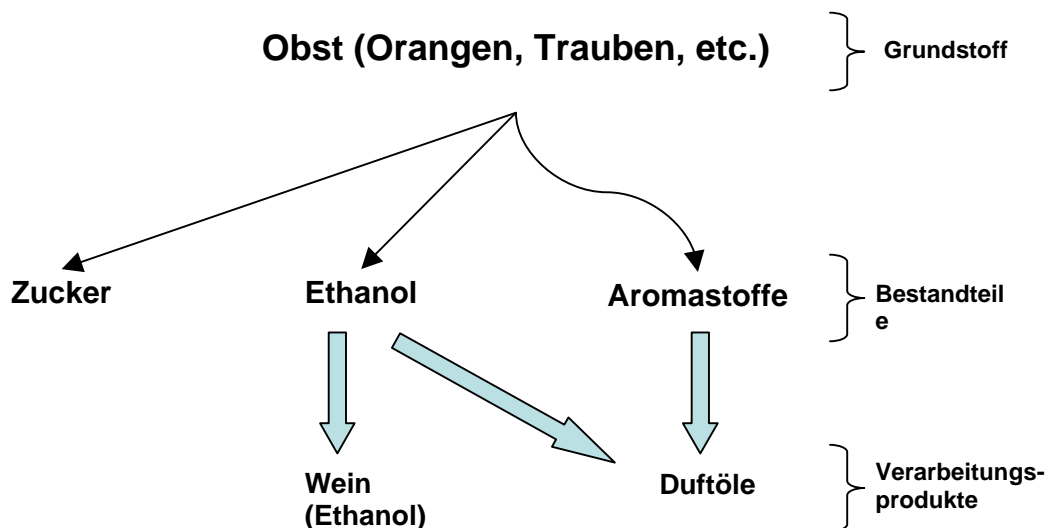


Bild 21.1: Einteilung der Stoffe in die Anorganische und die Organische Gruppe

Demonstration 2: Hörspiel „Die Neuorientierung der Chemie“

Zeitansatz: 10 Minuten

Aufgabe: Diskutiere anhand des vorliegenden Hörspiels die im Vorfeld erarbeitete Definition von *Bergmann* und *Berzelius*.

Hilfsmittel:

- Hörspiel „Die Neuorientierung der Chemie“
- Drehbuch zum Hörspiel
- CD-Player
- PC-Arbeitsplatz

Durchführung:

Der Lehrer spielt das **Hörspiel „Die Neuorientierung der Chemie“** auf dem CD-Player ab und bittet die Schüler sich währenddessen Notizen am PC-Arbeitsplatz zu machen, um nachher das Hörspiel in einem Unterrichtsgespräch diskutieren zu können.

Beobachtung und Auswertung:

Bis zum Jahre 1828 war diese Definition in allen Fachbüchern zu finden. In diesem Jahr gelang es jedoch dem deutschen Chemiker *Friedrich Wöhler*, einstmals ein Schüler des *Berzelius*, durch einen einfachen Versuch die Definition seines ehemaligen Lehrers zu widerlegen.

In einem Brief vom 22. Februar 1828 schreibt er an *Berzelius* (vgl. **Hörspiel in Anhang 22**):

„...ich kann, so zu sagen, mein chemisches Wasser nicht halten und muss Ihnen sagen, dass ich Harnstoff machen kann, ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Tier, sey es Mensch oder Hund, nöthig zu haben.“



Bild 21.2: Friedrich Wöhler (1800 - 1882)

Harnstoff, eine bis dahin nur aus dem menschlichen und tierischen Urin bekannte **organische Verbindung**, wurde kurz zuvor von **Wöhler** durch eine Kondensationsreaktion **aus zwei anorganischen Stoffen** vollständig synthetisiert. Es gelang ihm, entgegen der allgemeinen Fachmeinung aller Chemiker zuvor, aus einer toten Materie „organisches Leben“ zu erschaffen. **Berzelius** erfreute diese Tatsache und antwortete mit einem Dankesbrief vom 7. März desselben Jahres indem er **Wöhler** wissen ließ:

„Nachdem man seine Unsterblichkeit beim Urin angefangen hat, ist wohl aller Grund vorhanden, die Himmelfahrt in demselben Gegenstand zu vollenden, - und wahrlich, Herr Doktor hat wirklich die Kunst erfunden, den Richtweg zu einem unsterblichen Namen zu gehen.“

Das Fundament für eine neue Theorie war gelegt. [21]

21.2 Zweite Stunde: Der Versuch 1 und der Alternativ-Versuch 1**Versuch 1: Verkohlung von Haushaltszucker****Zeitansatz: 10 Minuten****Chemikalien: Haushaltszucker****Schwefelsäure (konzentriert) C****R35 Verursacht schwere Verätzungen****S1/2 Unter Verschluss aufbewahren/Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen****S26 Bei Berührung mit den Augen gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren****S30 Niemals Wasser hinzugießen****S45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen (wenn möglich, dieses Etikett vorzeigen)****Geräte:****Becherglas 1000 ml (hohe Form)****Holzklötzchen oder andere hitzebeständige Unterlage*****Optophon*TM*****ColorTest*TM****Kamera-System zur Großbildübertragung****tragbare Schutzscheibe****Krepp-Papier****Abzug**

Versuchsaufbau:

Es riecht so verkohlt....



...man ist das heiß geworden!

Bild 21.3: Kohlenstoffnachweis in Haushaltszucker

Versuchsdurchführung:

Ein Becherglas wird zu $\frac{1}{4}$ mit herkömmlichem Haushaltszucker gefüllt. Auf diesen gibt der Lehrer dann ein etwa halb so großes Volumen an konzentrierter Schwefelsäure (farblos). Die Schüler beobachten während der gesamten Reaktion die Temperatur des Reaktionsgefäßes und prüfen nachher das entstandene Reaktionsprodukt.

Beobachtung und Auswertung:

Der Haushaltszucker verfärbt sich von weiß über gelbbraun nach schwarz. Man beobachtet zudem eine Volumenvergrößerung bis auf das fünffache des Ausgangsvolumens und eine starke Temperaturzunahme des Reaktionsgefäßes aufgrund einer exothermen Reaktion (Vorsicht heiß!). Schwefelsäure ist sehr hygroskopisch und entzieht dem Zucker Wasser. Zurück bleibt eine schwarze kohleähnliche Substanz. Hierbei könnte es sich um reinen Kohlenstoff handeln. Während und insbesondere nach der Reaktion riecht es ziemlich verbrannt. Mittels Krepp-Papier kann das entstandene Produkt nach Säuberung von Schwefelsäure durch den Lehrer auf seine Härte und sein Aussehen geprüft werden. Der Reaktionsverlauf sollte für sehbehinderte zudem auf den Großbildschirm übertragen werden. Für blinde Schüler kann wahlweise das *Optophon*TM bzw. der *ColorTest*TM eingesetzt werden. Nach der Beobachtung durch die Schüler sollte das Gefäß sofort unzugänglich in den Abzug gestellt werden.

Alternativ-Versuch 1: Verbrennung eines Industriediamanten **im Sauerstoffstrom**

Zeitansatz: 15 Minuten

Chemikalien:

Sauerstoff (in Gasflasche) O

R8 Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen

R33 Gefahr kumulativer Wirkungen

R34 Verursacht Verätzungen

S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S17 Von brennbaren Stoffen fernhalten

Industriediamant

Calciumhydroxid-Lösung (gesättigt) Xi

R41 Gefahr ernster Augenschäden

S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S24/25 Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden

S26 Bei Berührung mit den Augen gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren

S39 Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen

Geräte:

Quarzverbrennungsröhr (Länge 15 cm, Ø 0,5 cm)

2 Plastikspritzen (60 mL) oder Kolbenprober

Schlauchmaterial

Dreiwegehahn

Pinzette

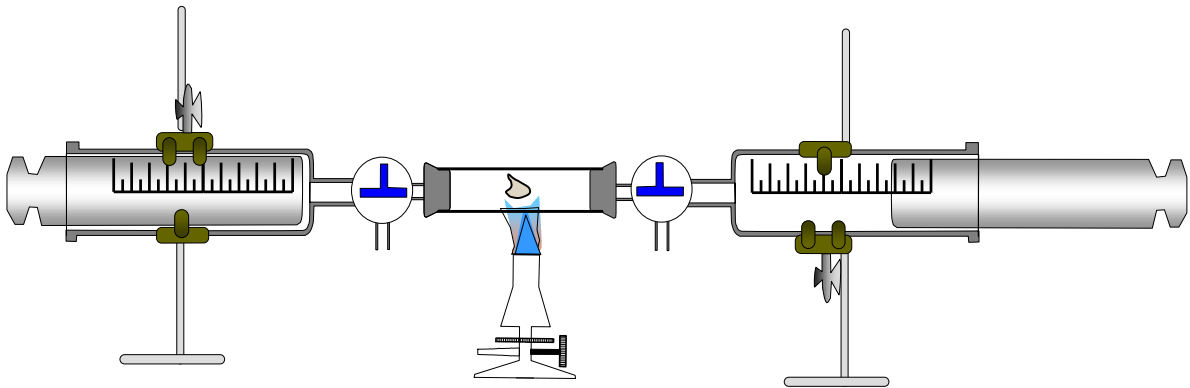
Stativmaterial

Schraubventil mit Druckmesser passend für Gasflasche

Kamera-System mit Großbildübertragung

Kartuschenbrenner (1600 °C)

Optophon™

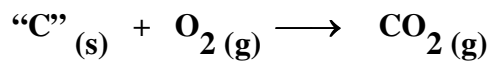
Versuchsaufbau:**Bild 21.4: Aufbauskitze für die Verbrennung eines Industriediamanten über Kolbenprober****Versuchsdurchführung:**

Ein Industriediamant (Korngröße unter 3 mm) wird in die aus dem Versuchsaufbau ersichtliche Apparatur eingeführt. Dabei sollte der Diamant relativ mittig im Quarzrohr platziert werden. Dann wird die Apparatur mehrmals mit Sauerstoff-Gas gespült. Im Anschluss befüllt man eine Plastikspritze oder wahlweise einen Kolbenprober komplett mit 60 mL Sauerstoff und schließt die Apparatur dicht ab. Der Lehrer erhitzt mit dem Kartuschenbrenner das Quarzrohr an der Stelle, wo der Industriediamant sitzt. Während dieses Vorgangs wird das Licht ausgeschaltet. Zwei Schüler assistieren dem Lehrer, indem sie während des Erhitzungsvorgangs das Sauerstoff-Gas über den Diamanten mit Hilfe der beiden Spritzen schieben. Dabei sollte der Sauerstoff relativ schnell über den Diamanten fließen, sodass man diesen nachher auch ohne Brennerunterstützung zum Aufleuchten bringen kann. Der Vorgang ist zu Ende, wenn kein Glühen mehr zu beobachten ist. Das entstandene Gas kann mit Hilfe einer gesättigten Calciumhydroxid-Lösung nachgewiesen werden.

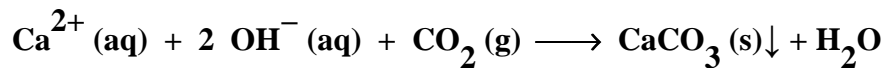
Beobachtung und Auswertung:

Alle Schüler sollten vor dem Versuch noch den gesamten Versuchsaufbau studieren, blinde Schüler durch Abtasten und sehbehinderte Schüler durch detailliertes Betrachten der Apparatur aus der Nähe. Bei Durchführung des Versuchs kann man beobachten, dass nach etwa einer halben Minute der **Diamant stark aufglüht**, da dieser mit dem in der Apparatur enthaltenen

Sauerstoff reagiert. Bei Entfernen des Brenners und weiterer Sauerstoffverschiebung glüht der Diamant weiter. Dieses Phänomen kann man etwa eine halbe Minute bis zum Erlöschen des Diamanten beobachten. Danach ist dieser fast komplett verbrannt und man erkennt nur noch kleinere schwarze kohleähnliche Staubkörnchen. Wenn man den Sauerstoff langsamer hin und her schiebt, so nimmt die Leuchtkraft des glühenden Diamanten ab. Zur besseren Beobachtung kann ein **Kamera-System mit Großbildübertragung** für Sehbehinderte eingesetzt werden. Das **Optophon™** zur Übertragung der optischen Signale in akustische kann blinden Schülern einen besseren Zugang zum Experiment ermöglichen. Der **Diamant**, der aus Kohlenstoff besteht, reagiert mit **Sauerstoff** fast komplett zu **Kohlenstoffdioxid**:



Weitere Produkte sind **Kohlenstoffmonoxid** und **elementarer Kohlenstoff**, welchen man als schwarzen Staub im Glührohr erkennen kann. Das entstandene Kohlenstoffdioxid-Gas kann mit Hilfe einer gesättigten Calciumhydroxid-Lösung als weißes festes Calciumcarbonat nach folgender Gleichung nachgewiesen werden:



21.3 Dritte Stunde: Die Versuche 2, 3 a) und b)**Versuch 2: Methan und seine physikalischen Eigenschaften****Zeitansatz: 5 Minuten**

Chemikalien: Methan (in Gasdose) F+

R12 Hochentzündlich

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen

Sauerstoff (in Gasflasche) O

R8 Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen

R33 Gefahr kumulativer Wirkungen

R34 Verursacht Verätzungen

S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S17 Von brennbaren Stoffen fernhalten

Geräte: Standzylinder mit Glasdeckel

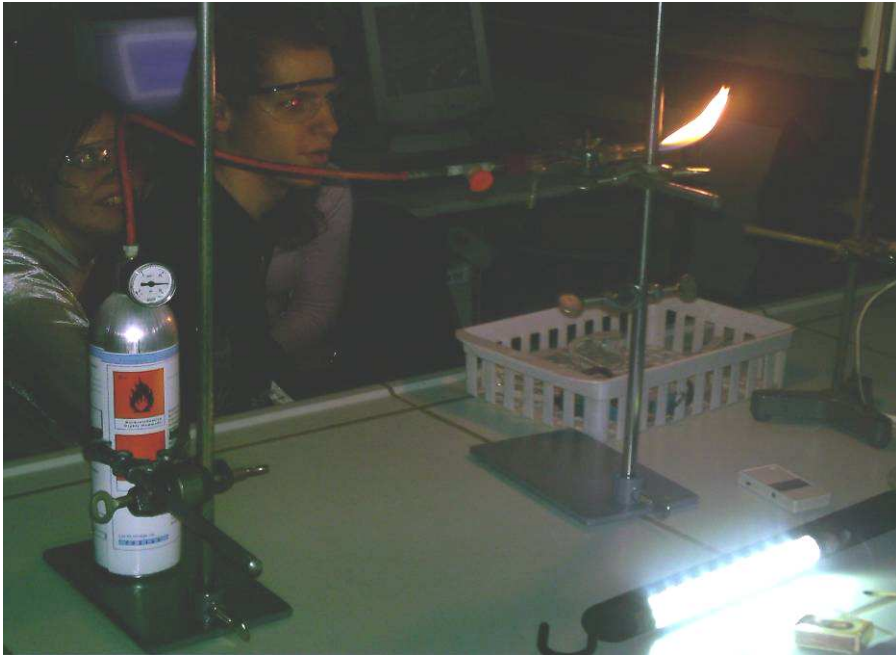
Verbrennungslanze

Schraubventil passend für Gasdosen

Luftballon rot am Seil

*Optophon*TM

Kamera-Sytem zur Großbildübertragung

Versuchsaufbau:**Die Verbrennungslanze...****...in Aktion.****Bild 21.5: Einsatz der Verbrennungslanze im Unterricht**

Versuchsdurchführung:

Die Schüler überprüfen die **physikalischen Eigenschaften von Methan** wie **Aussehen, Dichte, Geruch** und **Brennbarkeit**. Bei der Brennbarkeit sollte der Lehrer die **Verbrennungslanze** nach kurzer Einführung in die Funktionsweise bedienen, wobei ihm ein Schüler dabei assistieren kann. Den anderen sehbehinderten Schülern kann die Beobachtung der Verbrennung mit Hilfe des **Kamera-Einsatzes auf den Großbildschirm** übertragen werden. Für blinde Schüler kann wahlweise ein **OptophonTM** eingesetzt werden. Die Überprüfung der spezifischen Dichte des Gases gegenüber Luft kann mit Hilfe eines **Luftballons** geschehen. Ein mit Methan gefüllter Luftballon an einem Seil schwebt auf der spezifisch schwereren Luft. Zur besseren Sichtbarkeit kann hier ein roter Luftballon gewählt werden.

Beobachtung und Auswertung:

Methan ist ein farbloses und geruchloses Gas mit sehr guter Brennbarkeit. Das Gas hat eine geringere Dichte als Luft und brennt mit leicht gelblicher Flamme. Die helle Lichterscheinung beruht darauf, dass kleinste Kohlenstoffpartikel in der Flamme bei unvollständiger (sauerstoffarmer) Verbrennung aufglühen, wie man es von glühender Kohle beim Grillen kennt. Bei Zufuhr von reinem Sauerstoff brennt Methan mit bläulicher Flamme.

Versuch 3a): Qualitativer Nachweis von Kohlenstoff in organischen Verbindungen am Beispiel des Methans

Zeitansatz: 15 Minuten

Chemikalien: Methan (in Gasdose)
R12 Hochentzündlich
S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen
S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen

Geräte: Verbrennungslanze
Porzellanplatte weiß 20 cm x 20 cm oder Porzellanschale
Nadelventil mit passendem Gewinde
Kamera-System mit Großbildübertragung
ColorTest™

Versuchsaufbau:



Bild 21.6: Der Nachweis von Kohlenstoff in Methan

Versuchsdurchführung:

Methan wird vom Lehrer durch eine Verbrennungslanze geschickt und entzündet. Direkt über die Flamme hält man eine weiße Porzellanplatte.

Beobachtung und Auswertung:

Nach einigen Sekunden färbt sich die Porzellanplatte durch die Methanflamme **schwarz**. Verantwortlich dafür ist der durch die unvollständige Verbrennung entstandene **elementare Kohlenstoff**, der sich zum großen Teil auf der Porzellanplatte sammelt.



Bild 21.7: Einsatz des ColorTest™ im Unterricht der Carl-Strehl-Schule

Die Beobachtung der Schwarzfärbung kann zum einen für sehbehinderte Schüler mit Hilfe des **Kamera-Einsatzes auf den Großbildschirm** übertragen werden. Zum anderen kann sie durch Einsatz des **ColorTest™** für blinde Schüler unterstützt werden. Zudem besteht bei genügend Rußbildung die Möglichkeit, das entstandene Produkt auf der Porzellanplatte zu ertasten.

Versuch 3 b): Qualitativer Nachweis von Wasserstoff in organischen Verbindungen am Beispiel des Methans

Zeitansatz: 10 Minuten

Chemikalien: Methan (in Gasdose) F+
R12 Hochentzündlich
S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen
S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen

Geräte: Verbrennungslanze
Glaskelch (Standzylinder) groß, gekühlt und getrocknet
Schraubventil passend für Gasdosen
Kamera-System mit Großbildübertragung

Versuchsaufbau:



Bild 21.8: Nachweis von Wasserstoff im Methan

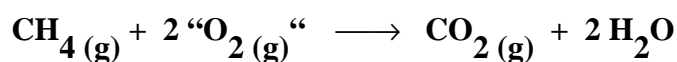
Versuchsdurchführung:

Methan wird durch eine Verbrennungslanze geschickt und entzündet. Die gelb leuchtende Flamme führt man für etwa 15 Sekunden in einen großen, kalten und trockenen Standzylinder ein. Nach kurzem Abkühlen des durch die Methan-Flamme erhitzten Standzylinders, können die Schüler das im Standzylinder aufgefangene Produkt ertasten.

Beobachtung und Auswertung:

Bild 21.9: Überprüfung des flüssigen Produktes durch Ertasten

An der kalten Standzylinderwand kondensiert **Wasser**, welches man mit der Hand als solches identifizieren kann. Es entsteht bei der Verbrennung organischer Verbindungen, die außer Kohlenstoff auch das Element **Wasserstoff** enthalten, nach folgender Gleichung:



Mit Hilfe der **Kameraübertragung** ist es den sehbehinderten Schülern zudem möglich, entstandenes Wasser in Form kleinster Tröpfchen zu erkennen.

21.4 Vierte Stunde: Der Versuch 4 und die Demonstration 3 und 4**Versuch 4: Eine andere Knallgasreaktion am Beispiel des Methans**

Zeitansatz: 5 Minuten

Chemikalien: Methan (in Gasdose) F+
R12 Hochentzündlich
S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen
S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen

Geräte: Papphülse als Explosionskammer mit Verschluss
100 mL Kolbenprober mit Hahn und Membranverschluss
20 mL Einwegspritze mit passender Nadel
Klebeband
Nadelventil mit passendem Gewinde
Kamera-System mit Großbildübertragung
mobile Schutzscheibe

Versuchsaufbau:



Bild 21.10: Eine selbstgebaute Explosionskammer

Versuchsdurchführung:

Vor dem Versuch wird den sehbehinderten Schülern von Seiten des Lehrers die benutzte Explosionskammer mit Hilfe des Kamera-Einsatzes näher erläutert. Der Lehrer beschickt mit Hilfe der Schüler eine 1000mL Papphülse (**Explosionskammer**) mit 100 mL Methan und schüttelt diese nach Verschließen sorgfältig. Die Explosionskammer wird in großem Abstand von der Lerngruppe gesichert platziert. Gegebenenfalls kann zusätzlich zwischen Explosionskammer und Zuschauer eine Schutzscheibe eingesetzt werden. Dann wird das explosive Methan-Luft-Gemisch in der Hülse entzündet.

Beobachtung und Auswertung:

Methan und Luft reagieren bei ihrer Vermischung gar nicht miteinander. Jedoch bilden beide Reaktionspartner, ähnlich wie Wasserstoff und Sauerstoff, explosive Methan-Luftgemische. Hierbei muss die benötigte Aktivierungsenergie zunächst erstmal aufgebracht werden, damit das **reaktionsträge** Gemisch miteinander reagiert. Das geschieht durch einfachstes Entzünden bei einer **Explosionsgrenze von 5 bis 15 Volumenprozent Methan**. Nach Entzünden des Gemisches ist ein lauter Knall zu hören. Der Deckel der Papphülse fliegt dabei in hohem Bogen davon.

Demonstration 3: Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms

Zeitansatz: 10 Minuten

Aufgabe: Finde die Ursache dafür, dass eine so große Anzahl organischer Verbindungen bekannt ist.

Hilfsmittel:

- Periodensystem
- CVK™-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome) oder zweidimensionales Molekülbaukasten-System

Versuchsaufbau:



Bild 21.11: Das zweidimensionale Molekülbaukasten-System in Erprobung

Durchführung:

Mit Hilfe des (zweidimensionalen) Molekülbaukastens und des Periodensystems soll in einer Stillarbeitsphase (**Gruppenarbeit!**) die Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms hergeleitet werden.

Beobachtung und Auswertung:

Die Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms lässt einen hohen Grad an Regelmäßigkeit und dadurch entstehender Stabilität zu. Jedes Kohlenstoffatom besitzt vier Valenzelektronen. Die Molekülstruktur wird demnach durch die **Ausbildung von kovalenten Elektronenpaarbindungen** erklärt.

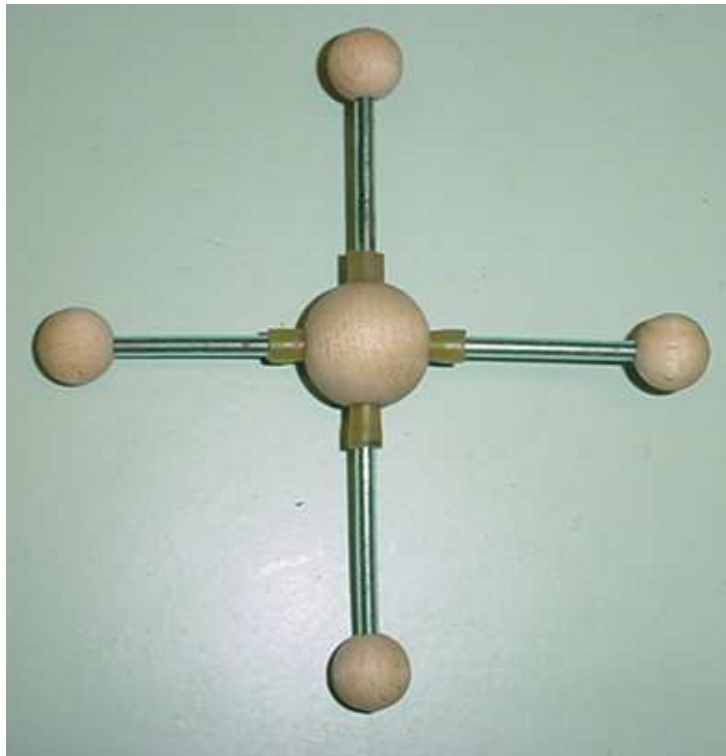


Bild 21.12: Das Methan-Molekül auf zweidimensionaler Basis

Demonstration 4: Strukturelle Eigenschaften organischer Verbindungen

Zeitansatz: 15 Minuten

Aufgabe: Finde heraus wie organische Verbindungen **dreidimensional** strukturiert sein könnten.

Hilfsmittel:

- verschiedene geometrische Modelle wie z.B. Quader, Pyramiden und andere den Schülern bekannte flächige Strukturen
- Tetraedermodell
- CVKTM-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)

Durchführung:

Anhand bekannter **flächiger Strukturen** wie z.B. Quader, Pyramiden, usw., soll die Struktur des Tetraeders gefestigt werden.

Ergebnis:

Die Vierbindigkeit des Kohlenstoffatoms und die dadurch **tetraedrisch angeordneten Einfachbindungen** lassen einen hohen Grad an Regelmäßigkeit und dadurch entstehender Stabilität zu. Bei der einfachsten Kohlenwasserstoffverbindung, dem **Methan**, bilden ein jedes der vier Valenzelektronen des zentralen Kohlenstoffatoms mit dem Valenzelektron des Wasserstoffatoms eine gemeinsame Elektronenpaarbindung. Nach dem **Valenzelektronen-paar-Abstoßungs-Modell** ordnen sich die vier Wasserstoffatome möglichst weit voneinander entfernt an. Das Methanmolekül besitzt somit eine **Tetraederstruktur**:

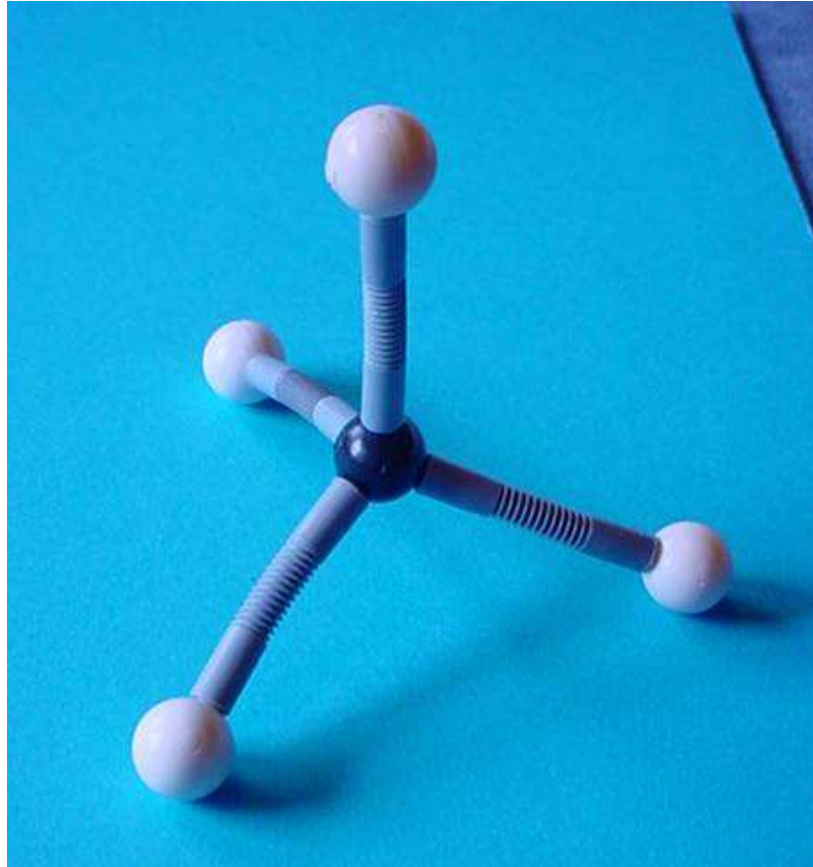


Bild 21.13: Das Methan-Molekül hergestellt mit dem CVK™-System

21.5 Fächerübergreifender Unterricht: Die Demonstration 5**Demonstration 5: Berechnung des Tetraederwinkels**

Zeitansatz: 15 Minuten

Aufgabe: Berechne den **Tetraederwinkel** zwischen den **H-C-H-Einfachbindungen** des Methanmoleküls.

Hilfsmittel:

- Tetraedermodell
- CVK™-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)
- Umkreis- Stern- und Dreieckmodelle

Versuchsaufbau:

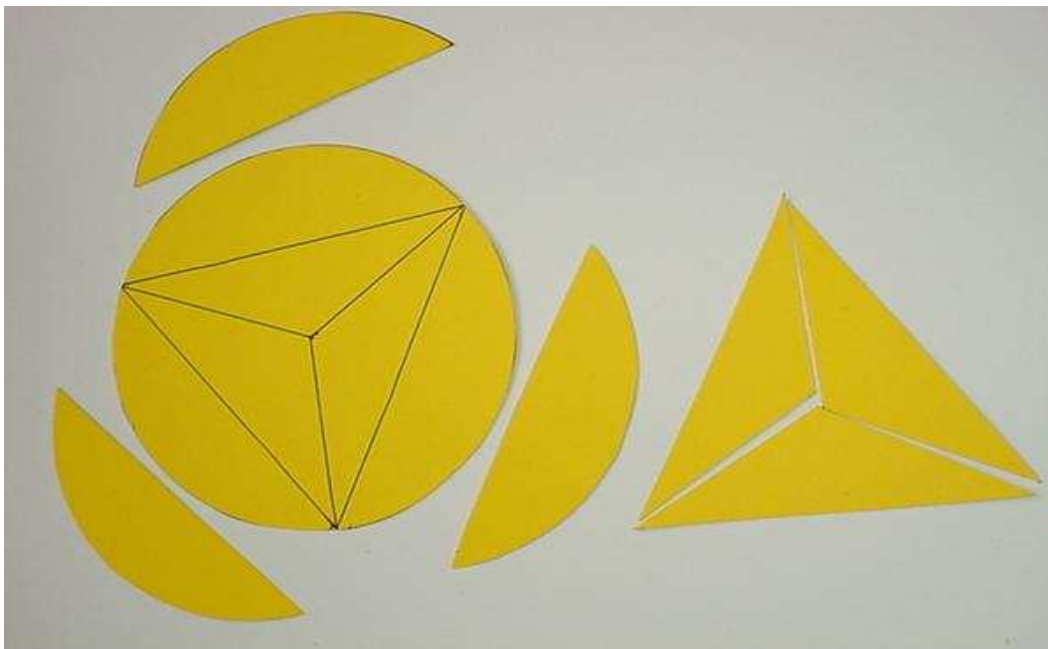


Bild 21.14: Das Umkreismodell

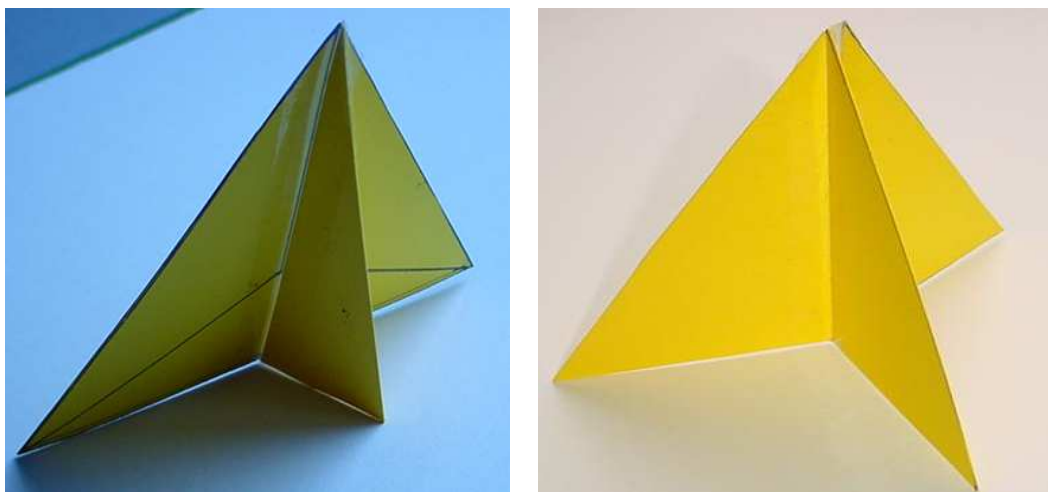


Bild 21.15: Das Dreieck- und das Sternmodell

Durchführung:

Anhand der erstellten Methan- und geeigneter Tetraedermodelle soll der **Tetraederwinkel** zwischen den **H-C-H-Einfachbindungen** geschätzt werden. Nach diesen ersten Einschätzungen soll nun dieser Winkel mit Hilfe geeigneter Berechnungsmethoden (Trigonometrie und *Pythagoras*) genau bestimmt werden. Die Schüler bekommen dazu ein zusätzliches **Umkreismodell** vom Lehrer, welches den Schülern eine Unterteilung der Tetraederdreiecksseite in drei gleichschenklige Dreiecke liefert:

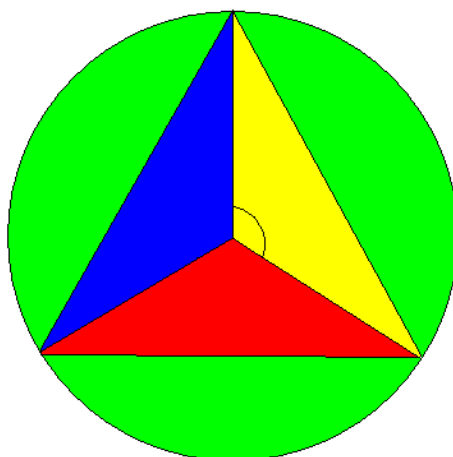


Bild 21.16: Ein farbiger Entwurf des Umkreismodells

Da es sich hierbei um gleichschenklige Dreiecke handelt, wird der Umkreiswinkel von 180° gedrittelt, sodass jeder der drei Winkel, die den Mittelpunkt umranden, 120° beträgt. Dieser Winkel wird im Folgenden mit α bezeichnet. Die Gesamthöhe H der Tetraederfigur des Methan-Moleküls setzt sich additiv aus den beiden Größen a und b zusammen, wobei b die Höhe von der Tetraedergrundfläche zum Zentralatom und a den Abstand der einzelnen Wasserstoffatome vom zentralen Kohlenstoffatom symbolisieren. Die Länge c der gleichschenkligen Dreiecksseiten (**Katheten**) kann mit Hilfe des **Cosinussatzes** berechnet werden, wenn die Länge der **Hypothense** bekannt ist.

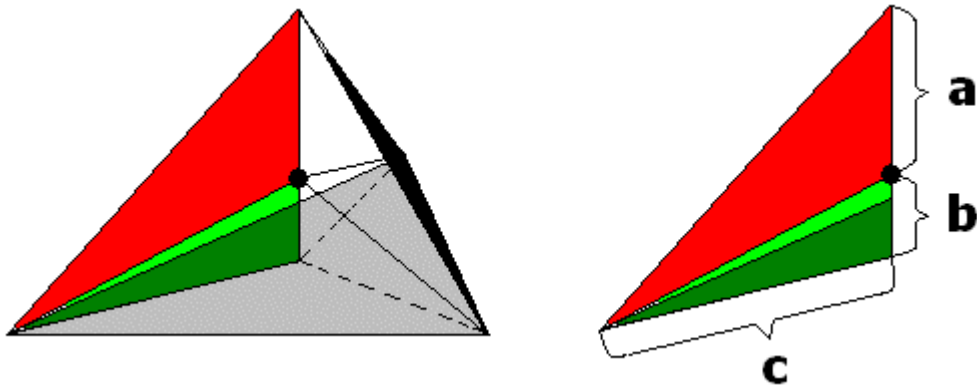


Bild 21.17: Die geometrische Anschauung des Tetraeder-Problems

Der Einfachheit halber wird die Hypothenusenlänge gleich 1 gesetzt. Es folgt also aus dem Cosinussatz für den Tetraederwinkel φ :

$$1 = 2a^2 - 2a^2 \cos\varphi \quad (1)$$

Mit Hilfe des *Satzes von Pythagoras* kann man durch Einsetzen die Variable b eliminieren. Die Betrachtung der grün gefärbten Dreiecksfläche liefert:

$$a^2 - b^2 = c^2$$

Aus der dritten Binomischen Formel folgt für $a + b = H$:

$$(a - b)H = c^2 \Rightarrow a - b = \frac{c^2}{H} \quad (2)$$

Man erhält also:

$$\mathbf{a} = \frac{1}{2} \left(\mathbf{b} + \frac{\mathbf{c}^2}{\mathbf{H}} \right)$$

Für die Größe \mathbf{c} gilt nach dem Cosinussatz für $\alpha = 120^\circ$:

$$\mathbf{1} = 2\mathbf{c}^2 - 2\mathbf{c}^2 \cos 120^\circ = 2\mathbf{c}^2 + \mathbf{c}^2 = 3\mathbf{c}^2 \Rightarrow \mathbf{c}^2 = \frac{1}{3}$$

Durch Einsetzen dieses Wertes für \mathbf{c} erhält man durch Pythagoras:

$$\mathbf{1} = \mathbf{c}^2 + \mathbf{H}^2 \Rightarrow \mathbf{H}^2 = \frac{2}{3} \Rightarrow \mathbf{H} = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

Nun kann man \mathbf{a} mit Hilfe von **Gleichung (2)** berechnen:

$$\mathbf{a} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{3}{2}} \right)$$

Man setzt in **Gleichung (1)** ein und erhält den Tetraederwinkel:

$$\begin{aligned} \mathbf{1} &= 2 \frac{3}{8} - 2 \frac{3}{8} \cos \varphi \\ \Rightarrow \mathbf{1} - \cos \varphi &= \frac{4}{3} \Rightarrow \cos \varphi = -\left(\frac{1}{3}\right) \\ \Rightarrow \varphi &= 109,47^\circ \end{aligned}$$

Ergebnis:

Der Tetraederwinkel beträgt etwa **109,47 °**. Man bezeichnet ein Zentralatom mit gleichwertiger Anordnung von vier Einfachbindungen als Atom mit **sp³-Charakter**. Ein Beispiel für ein solches Atom ist das Kohlenstoffatom im Methan-Molekül. Hier ordnen sich die einzelnen Wasserstoffatome im **energetisch günstigsten Abstand** zueinander an.

21.6 Fünfte Stunde: Die Demonstration 6

Demonstration 6: Strukturelle Eigenschaften von Alkanen

Zeitansatz: 15 Minuten

Aufgabe: Erstelle einfache **Kohlenwasserstoffe** mit Hilfe des Molekülbaukastens. Hierbei sollen zunächst nur Verbindungen erstellt werden, welche einzig aus **Einfachbindungen** zusammengesetzt sind.

Leitfrage: Welche **Regelmäßigkeiten** sind in den erstellten Molekülstrukturen zu erkennen?

Hilfsmittel:

- Periodensystem
- CVK™-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)

Beobachtung und Auswertung:

Es gibt viele verschiedene Kohlenwasserstoffverbindungen, welche sich in der **Länge der Kohlenstoffkette**, sowie auch in der **Aneinanderreihung** dieser unterscheiden. In den **Alkan-Molekülen** sind aufgrund der Vierbindigkeit der Kohlenstoffatome, immer **mehr Wasserstoffatome als Kohlenstoffatome** enthalten. Zählt man in jeder in der Realität existierenden Verbindung (hier werden nur **Alkane** betrachtet!) jeweils die Anzahl der Kohlenstoff- und der Wasserstoffatome, so sind **pro n Kohlenstoffatomen** immer **(2·n+2) Wasserstoffatome** vorhanden. Alkane unterscheiden sich nur durch hinzukommende **CH₂-Gruppen (Methylen-Gruppen)**. Die allgemeine Formel der Alkane lautet **C_nH_{2n+2}**.

21.7 Sechste Stunde: Die Versuche 5 und 6 und die Demonstration 7**Versuch 5: Ausgewählte Alkane und deren physikalische Unterschiede****Zeitansatz: 10 Minuten****Chemikalien:****Methan (in Gasdose) F+****R12 Hochentzündlich****S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren****S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen****S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen****Butan (in Gasdose) F+****R12 Hochentzündlich****S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen****S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren****S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen****Heptan F****R11 Leichtentzündlich****S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen****S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren****S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen****S23.2 Dampf nicht einatmen****S29 Nicht in die Kanalisation gelangen lassen****S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen****Eicosan****Geräte:****Verbrennungslanze****Schraubventil passend für Gasdosen****Bunsenbrenner****2 Porzellanschalen*****Optophon*TM****Kamera-System zur Großbildübertragung**

Durchführung:

Verschiedene **Alkane (Methan, Butan, Heptan, Eicosan)** werden auf ihre Aggregatzustände und physikalischen Eigenschaften hin untersucht. Hierbei sollen die Verbindungen auf **Aussehen, Brennbarkeit, Aggregatzustände** und **Geruch** geprüft werden. Die Prüfung der einzelnen physikalischen Eigenschaften sollte aufgrund besserer Vergleichbarkeit, jeweils parallel, mit allen Verbindungen nebeneinander durchgeführt werden. Zur besseren Verfolgung der Versuchsdurchführung kann für sehbehinderte Schüler der Einsatz des **Kamerasystems mit Großbildübertragung** dienen. Für blinde Schüler eignet sich der Einsatz des **Optophons™**.

Ergebnis:

Methan: farbloses und geruchloses Gas, verbrennt sauber mit leicht gelblicher Flamme

Butan: farbloses und geruchloses Gas, unter 0°C flüssig, verbrennt mit rußen der Flamme

Heptan: farblose Flüssigkeit, Geruch: petroleumartig, verbrennt mit stark rußender Flamme

Eicosan: weißer wachsartiger Feststoff, geruchsarm, schmilzt bei leichtem Erwärmen und brennt nicht

Demonstration 7: Wechselwirkungen zwischen Alkanmolekülen

Zeitansatz: 10 Minuten

Aufgaben:

- 1.) Finde ein Alkan, welches einen ähnlichen Siedepunkt wie Wasser hat.
- 2.) Vergleiche beide Verbindungen, indem du die strukturelle Gestalt und weitere physikalische Eigenschaften diskutierst.

Leitfrage:

Worauf beruht die Tatsache, dass sich der Aggregatzustand der Alkane bei zunehmender Größe der Moleküle von gasförmig über flüssig nach fest verschiebt?

Hilfsmittel:

- Tabelle der Alkane aus der fünften Stunde
- CVK™-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)
- Periodensystem der Elemente

Ergebnis:

Heptan besitzt einen **Siedepunkt** von etwa **98 °C**, was dem Siedepunkt von **Wasser** von etwa **100 °C** sehr nahe kommt. Beide Verbindungen sind klare Flüssigkeiten, jedoch lässt sich Heptan durch seinen petroleumartigen Geruch vom geruchslosen Wasser olfaktorisch unterscheiden. Strukturell unterscheiden sich beide Verbindungen in der Größe ihrer Moleküle. Wasser-Moleküle sind erheblich kleiner als Heptan-Moleküle. Ein etwa mit Wasser strukturell vergleichbar großes Alkan ist das **Methan**. Dieses ist bei Normalbedingungen im Unterschied zum flüssigen Wasser ein Gas. Vergleicht man die **Molaren Massen** der beiden Verbindungen miteinander so sieht man, dass ein Mol **Heptan** mit einer Molaren Masse von **100 $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$** um ein vielfaches (fast sechsmal) schwerer ist, als ein Mol des vergleichbaren **Wassers** mit **18 $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$** . Zwischen den Alkan-Molekülen herrschen schwache *van-der-Waals-*

Wechselwirkungen, welche mit der Molekülgröße und steigender Oberfläche der Moleküle zunehmen. Zwischen den Wasser-Molekülen herrschen **Wasserstoffbrückenbindungen**, was den Schülern bereits aus der Sekundarstufe I bekannt ist. Man kann aus den Beobachtungen schließen, dass die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den einzelnen Wasser-Molekülen um ein vielfaches **stärker** sein müssen, als die *van-der-Waals-Wechselwirkungen* zwischen den Heptan-Molekülen.

Versuch 6: Unpolarität von Alkanen

Zeitansatz: 5 Minuten

Chemikalien: Heptan F
R11 Leichtentzündlich
S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen
S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen
S23.2 Dampf nicht einatmen
S29 Nicht in die Kanalisation gelangen lassen
S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen

Sudanrot (C₂₄H₂₁N₅)

Geräte: Becherglas 300 mL (hohe Form) / enger Standzylinder
Vorratsflasche
*Optophon*TM
*ColorTest*TM
Kamera-System zur Großbildübertragung

Durchführung:

Ein halbgefülltes Becherglas mit Wasser wird auf den Labortisch gestellt. Dann gibt der Lehrer aus einem zweiten Becherglas eine etwas größere Menge an Heptan, welches vorher mit Sudanrot angefärbt wurde, in das mit Wasser gefüllte Becherglas.

Ergebnis:

Es bilden sich **zwei Phasenschichten**, welche man gut durch die unterschiedliche Färbung voneinander unterscheiden kann. Die **fehlende Polarität der Alkane** verhindert, dass sich Heptan in Wasser löst. Andere organische Verbindungen lösen sich hingegen sehr gut in Wasser, wie etwa das **polare Ethanol**, ein **Alkohol**. Die Beobachtung der Phasenbildung kann zum einen für sehbehinderte Schüler mit Hilfe des

Kamera-Einsatzes auf den Großbildschirm projiziert werden. Zum anderen kann die Phasenbildung mit Hilfe des *Optophons*TM bzw. des *ColorTest*TM für blinde Schüler akustisch übersetzt werden. Durch die geringe Elektronen negativitäts-Differenz zwischen **Kohlenstoff** mit einer Elektronegativität (EN) von **2,5** und **Wasserstoff** mit einer Elektronegativität von **2,1**, kommt es zwischen diesen zur Ausbildung einer **schwachen Polarität**. Durch die sehr **symmetrische Struktur** der Alkane werden diese entstehenden Polaritäten zwischen Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen untereinander vollständig aufgehoben. Nach außen hin erscheinen Alkane deshalb **unpolar**. Die folgende Grafik verdeutlicht dies:

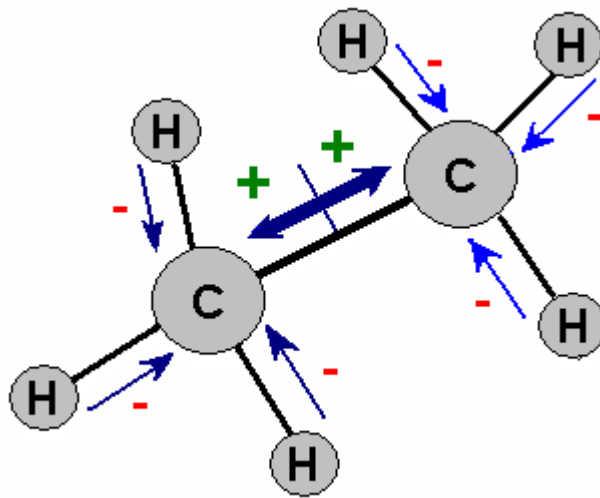


Bild 21.18: Die Aufhebung der Polaritäten im Ethan-Molekül

Man spricht von **Hydrophobie** („Wasserunfreundlichkeit“ – Gegenteil **Hydrophilie**). Alkane untereinander bilden homogene Gemische. Aufgrund der guten Löslichkeit anderer unpolarer Verbindungen in Alkanen, wie etwa den Fetten, spricht man auch von **Lipophilie der Alkane** („Fettfreundlichkeit“ – Gegenteil **Lipophobie**). Der Satz „*similis similibus solvuntur*“ oder „**Ähnliches löst sich in Ähnlichem**“ kann den Schülern hierbei als „Löslichkeitsregel“ eine große Hilfe sein. Die Unpolarität von Alkanen wächst dabei mit steigender Kettenlänge.

21.8 Siebte Stunde: Der Versuch 7**Versuch 7: Bestimmung der Molaren Masse mit Hilfe der Gasmolwaage****Zeitansatz: 25 Minuten****Chemikalien:****Methan (in Gasdose) F+****R12 Hochentzündlich****S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren****S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen****S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen****Butan (in Gasdose) F+****R12 Hochentzündlich****S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen****S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren****S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen****Sauerstoff (in Gasflasche) O****R8 Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen****R33 Gefahr kumulativer Wirkungen****R34 Verursacht Verätzungen****S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen****S17 Von brennbaren Stoffen fernhalten****Geräte:****Gasmolwaage nach *Kinttof* und *Wagner*****Schraubventil passend für Gasdosen****Schlauchmaterial****Kamera-System mit Großbildübertragung**

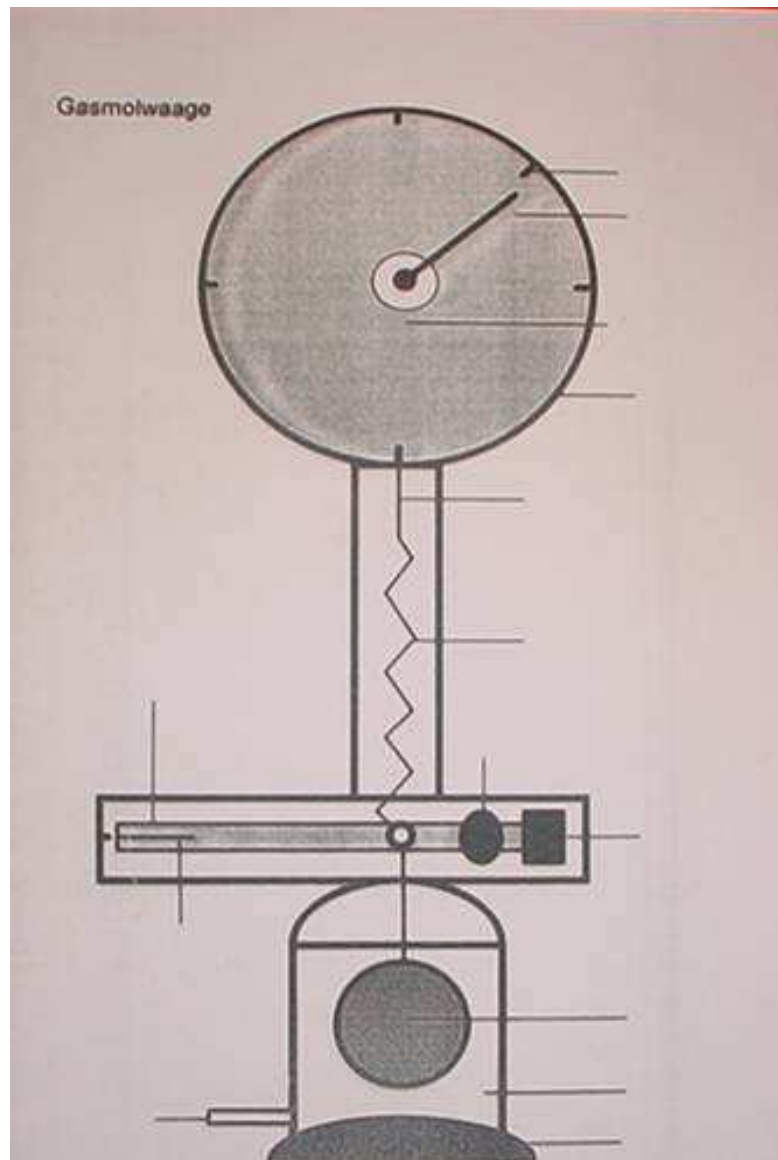
Versuchsaufbau und Funktionsweise der Gasmolwaage:

Bild 21.19: Taktile Vorlage der Gasmolwaage zur eigenen Beschriftung

Die **Gasmolwaage nach Kinttof und Wagner** besteht aus einem Plexiglasgefäß, in welchem eine verschlossene **Glaskugel** eingelassen ist. Die mit Luft komplett gefüllte Kugel ist an einer Feder befestigt, welche wiederum an einer Schnur hängt. Oberhalb der Glaskugel ist ein **Wägebalken** angebracht, mit dem später die Molare Masse der zu untersuchenden Verbindung über den Auftrieb der Glaskugel in einer eingebrachten gasförmigen Verbindung genau bestimmt werden kann (**Prinzip des Archimedes**). Bei Umspülen der Glaskugel mit einer unbekanntem gasförmigen Verbindung verdrängt die Kugel in dieser Gasatmosphäre aufgrund ihres konstanten Volumens, bei gleicher Temperatur und gleichem Druck das gleiche Gasvo-

lumen (*Avogadro*) und somit die gleiche Anzahl an Gasmolekülen. Der Unterschied des Auftriebs ist dann gleich der Differenz der Massen der verdrängten Gasvolumina.

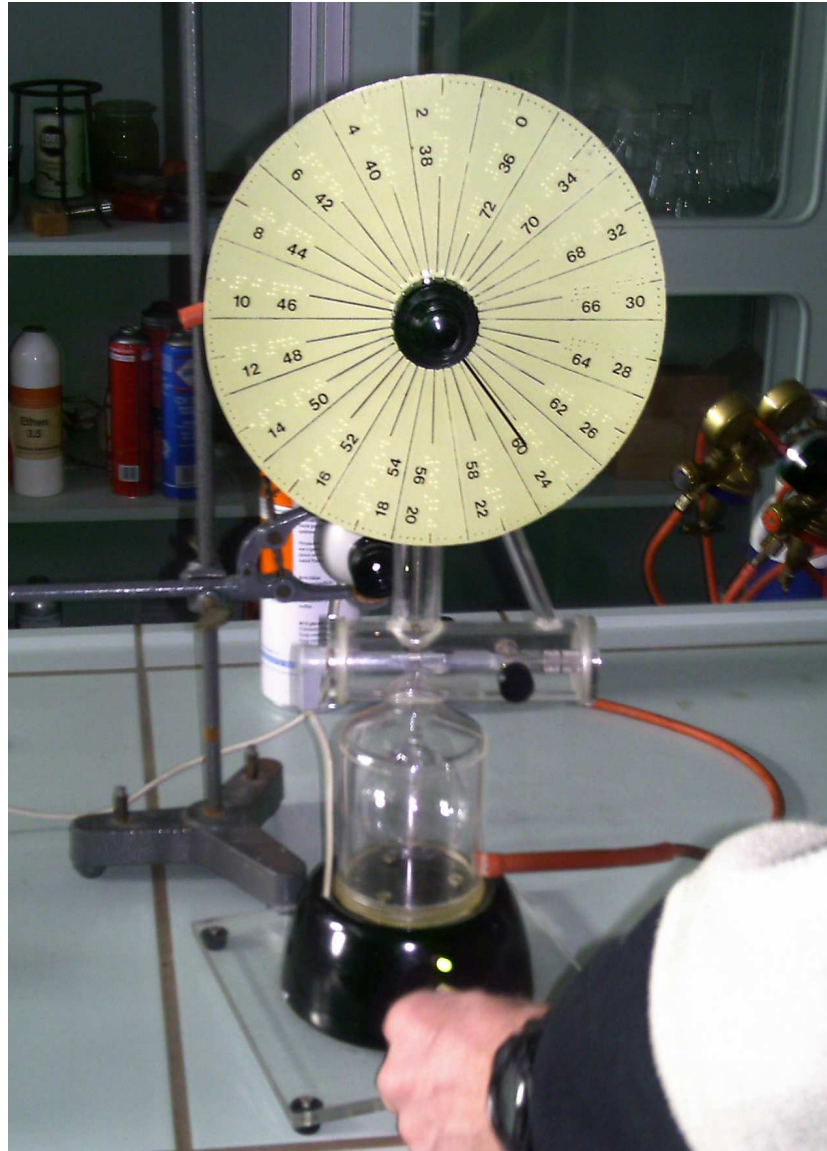


Bild 21.20: Die Gasmolwaage nach *Kinttof* und *Wagner*

Zur Bestimmung der Molaren Masse spült man daher den äußeren Plexiglas-mantel mit einem bekannten Gas wie etwa reinem Sauerstoff-Gas gut aus und verschließt die Apparatur wieder. Um nun die Gasmolwaage zu tarieren, muss man den Wägebalken, der sich beim Einfüllen des Gases aus dem Gleichgewichtszustand herausbewegt, wieder in diesen zurückbewegen. Dies geschieht durch Drehung am **inneren schwarzen Zeigerrad** der Gasmolwaage, an dem die Schnur der befestigten Glaskugel aufgerollt ist.

Zur besseren Handhabbarkeit wurde in der **Carl-Strehl-Schule** eine Elektronik am Wägebalken angebracht, welche durch ein **akustisches Signal** verrät, ob sich der Balken im Gleichgewichtszustand befindet oder nicht. Zudem wurde auf der hellen **Drehscheibe** zum Ablesen der Werte neben den klassischen Zahlenwerten eine **taktile Skalierung** angebracht, die es den blinden Schülern in Kombination mit der zusätzlich angebrachten Elektronik ermöglicht, die quantitative Bestimmung der Molaren Masse eigenhändig durchzuführen. Die Messskala der Gasmolwaage ist dazu unmittelbar auf die Litermassen und zugleich auf deren 24,5-fache Beträge, also die Molmassen der Gase abgestimmt worden. Ist der Gleichgewichtszustand wieder erreicht, dann wird der Wert für die Molare Masse der bekannten Verbindung mit Hilfe des äußeren Drehrades vorne an der Gasmolwaage auf Höhe des Zeigers bewegt. Der Zeiger zeigt also bei eingeführtem Sauerstoff-Gas die Molare Masse von $32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ auf dem taktilen Drehrad an.

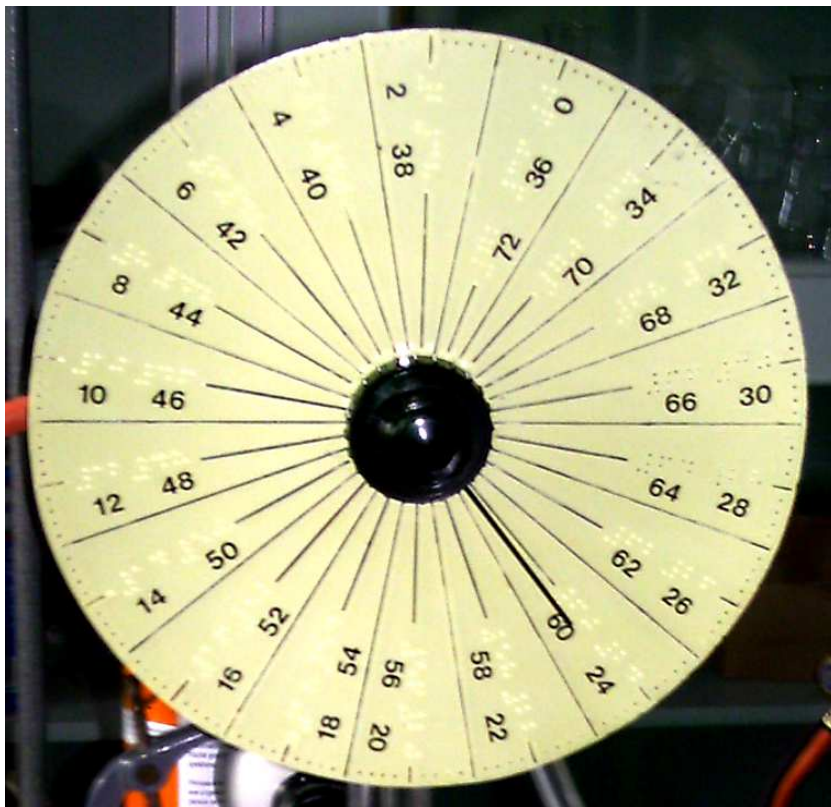


Bild 21.21: Das innere Zeigerrad auf der äußeren Drehscheibe

Zur Bestimmung der Molaren Masse eines unbekanntes Gases, wird nun die neu tarierte Skala benutzt. Man spült den äußeren Plexiglas mantel wie vorher vollständig mit Gas und verschließt die Apparatur nach Befüllen sorgfältig. Dann bringt man die Waage, durch

Drehen am inneren schwarzen Zeigerrad, in den Gleichgewichtszustand und kann dann direkt durch Ablesen des Wertes unter dem Zeiger die Molare Masse der unbekanntes Verbindung ablesen.

Versuchsdurchführung:

Die Molare Masse eines **unbekannten gasförmigen Alkans** wird mit Hilfe der **Gasmolwaage** über die Bestimmung der **Massendifferenz** zwischen dem zu analysierenden und einem bekannten Gas gleicher Volumina ermittelt. Danach vergleicht man das erhaltene Ergebnis mit dem theoretischen Wert für die Molare Masse des Alkans. In einem zweiten Versuch wird die Molare Masse eines **bekanntes gasförmigen Alkans** auf die gleiche Weise bestimmt. Man vergleicht auch dieses Ergebnis mit dem theoretischen Wert.

Beobachtung und Auswertung:

Avogadro stellte fest, dass „*gleiche Gasvolumina bei gleicher Temperatur und gleichem Druck die gleiche Anzahl von Teilchen enthalten*“ müssen. Bei einem Druck von 1013 hPa und einer Temperatur von 0 °C, also bei **Normbedingungen**, haben demnach alle („idealen“) Gase das gleiche **Molvolumen** $V_m = 22,4 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$. Es ergibt sich folgende Gleichung:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

wobei die Indizes die jeweiligen Größen für Temperatur und Druck, sowie das zugehörige Volumen bei den gewählten Bedingungen angeben. Bei **Standardbedingungen**, also einem Druck von 1 bar und einer Temperatur von 25 °C liegt das Molvolumen eines Gases bei etwa $24,5 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$. Mit Hilfe zweier Gleichungen kann man die Molare Masse aus der Massendifferenz zwischen gleichen Volumina der gasförmigen organischen Verbindung gegenüber Luft auf rechnerischem Wege ermitteln:

$$n(\text{Gas}) = \frac{V(\text{Gas})}{V_m} \quad \text{und} \quad M(\text{Gas}) = \frac{m(\text{Gas})}{n(\text{Gas})}$$

Die Gasmolwaage erleichtert die Bestimmung der Molaren Masse im Vergleich zu den klassischen Methoden, da hier die Messung der Massendifferenz durch die Bestimmung des Auftriebunterschieds zweier Gase im Vergleich zur luftgefüllten Glaskugel erfolgt. Das Ergebnis kann dabei einfach auf der Skala der Gasmolwaage abgelesen werden. Man erhält dadurch die Molare Masse eines unbekanntes Gases ganz ohne mathematische Berechnungen. Beim ersten unbekanntes Gas handelt es sich um **Methan**, da der ermittelte Wert für die Molare Masse mit dem theoretischen Wert fast genau übereinstimmt ($18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ gegenüber $16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$). Im zweiten Durchgang wurde die Molare Masse von **Butan** auf die gleiche Weise ermittelt. Das Ergebnis stimmt auch hier fast genau überein ($56 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ gegenüber $58 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$).

21.9 Achte Stunde: Der Versuch 8 und Alternativ-Versuch 2**Versuch 8: Quantitative Verbrennung von Methan und Butan im „Stilles Eudiometer“****Zeitansatz: 25 Minuten****Chemikalien:****Methan (in Gasdose) F+****R12 Hochentzündlich****S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren****S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen****S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen****Butan (in Gasdose) F+****R12 Hochentzündlich****S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen****S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren****S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen****Sauerstoff (in Gasflasche) O****R8 Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen****R33 Gefahr kumulativer Wirkungen****R34 Verursacht Verätzungen****S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen****S17 Von brennbaren Stoffen fernhalten****Geräte:****„Stilles Eudiometer“****Schraubventil passend für Gasdosen****Schraubventil mit Druckmesser passend für Gasflasche****Schlauchmaterial****Kamera-System mit Großbildübertragung**

Versuchsaufbau:

Bild 21.22: Das „Stille Eudiometer“ mit angebrachter *Braille*-Skala

Versuchsdruchführung:

Ein „**Stilles Eudiometer**“ wird im ersten Teil des Versuches mit einem Gemisch aus 10 mL Methan und 10 mL Sauerstoff beschickt. Dann verbrennt man das Gemisch mit Hilfe des im Eudiometer integrierten Zündfunken und fängt das entstehende Gas zur Bestimmung seines Volumens mit dem Eudiometer-Kolbenprober auf. Im zweiten Teil des Versuches wird nach gleichem Verfahren 10 mL Butan mit 10 mL Sauerstoff zur stillen Reaktion gebracht.

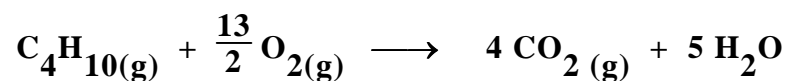
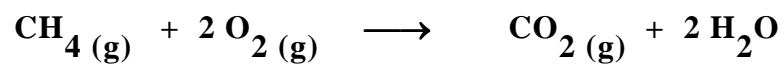
Ergebnis:

Man erhält im ersten Teil des Versuches bei der stillen Verbrennung von Methan mit Sauerstoff 10 mL Kohlenstoffdioxid. Im zweiten Fall entsteht bei der Stillen Verbrennung von Butan mit Sauerstoff 40 mL Kohlenstoffdioxid. Bestimmt man nun den Quotienten aus **Volumen(CO₂) : Volumen (Alkan)**, so kann man die Kohlenstoffanzahl beider Alkan-Moleküle bestimmen.



Bild 21.23: Das taktile Erfahren der Apparatur

Das **Methan-Molekül** besitzt demnach $10 \text{ mL} : 10 \text{ mL} = 1$ Kohlenstoffatom (**Summenformel** CH_4), das **Butan-Molekül** hingegen $40 \text{ mL} : 10 \text{ mL} = 4$ Kohlenstoffatome (C_4H_{10}). Die bei der Reaktion entstehenden Wasserspuren sind so gering, dass sie das Messergebnis nicht beeinflussen. Folgende Gleichungen liegen den beiden Reaktionen zu Grunde:



Alternativ-Versuch 2: Quantitative Verbrennung von Methan und Butan - Klassische Methode nach *Liebig* und *Lavoisier*

Zeitansatz: 35 Minuten

Chemikalien:

Kupfer(II)-oxid (gekörnt) Xn

R22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken

S22 Staub nicht einatmen

Methan (in Gasdose) F+

R12 Hochentzündlich

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen

Butan (in Gasdose) F+

R12 Hochentzündlich

S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

Glaswolle

Geräte:

2 Kolbenprober 100 mL

Quarzrohr mit 15 cm Länge

Dreiwegehahn

Dreiwegehahn mit Druckausgleich

2 Gummistopfen mit Loch

Schlauchmaterial

6 Schlauchklemmen

Bunsenbrenner mit Brenneraufsatz

Stativmaterial

*Optophon*TM

Kamera-System mit Großbildübertragung

Versuchsbeschreibung:

Ein Quarzrohr wird zu $\frac{3}{4}$ mit gekörntem Kupfer(II)-oxid gefüllt und an beiden Enden mit je einem Stück Glaswolle, sowie passenden Gummistopfen mit eingelassenen Dreivegehähnen verschlossen. Der linke Kolbenprober wird an den Dreivegehahn ohne Gasausgleich mittels Schlauchmaterial angeschlossen und über diesen mit 20 mL Methan gefüllt. Der rechte Kolbenprober wird auf gleiche Weise an das Glasrohrstück angeschlossen. Die Apparatur sieht dann folgendermaßen aus:

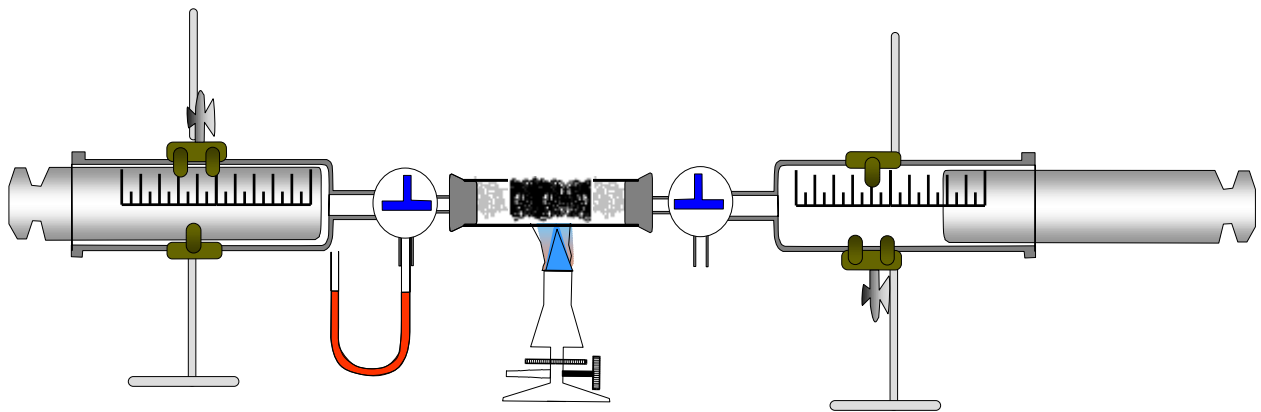


Bild 21.24: Versuchsaufbau zur klassischen Verbrennungsanalyse

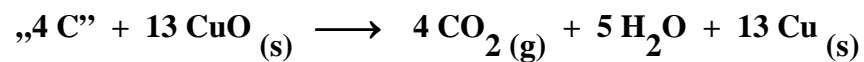
Dann erhitzt man das im Quarzrohr enthaltene Kupfer(II)-oxid bis zur Rotglut und leitet durch Hin- und Herschieben der Kolben mehrmals das Methan über das Kupfer(II)-oxid, bis sich im rechten Kolbenprober eine Volumenkonstanz einstellt. Nach Abkühlen der gesamten Apparatur wird das Gasvolumen abgelesen und als Wert notiert. Der gleiche Versuch wird mit 20 mL Butan wiederholt. Man notiert auch hier nach Abkühlen der Apparatur das Gasvolumen und vergleicht mit dem Wert für Methan.

Beobachtung und Auswertung:

Sowohl Methan als auch Butan werden mittels Kupfer(II)-oxid zu Kohlenstoffdioxid und Wasser oxidiert. Das Volumen des kondensierten Wassers, welches nach dem Abkühlen im Quarzrohr zu beobachten ist, kann bei der Rechnung vernachlässigt werden. Aus einem Raumteil Methan entsteht ein Raumteil Kohlenstoffdioxid nach folgender Gleichung:



Ein Raumteil Butan liefert bei gleicher Versuchsdurchführung vier Raumteile Kohlenstoffdioxid nach folgender Gleichung:



Die **Hypothese des Avogadro** lässt hierbei den Schluss zu, dass das Methan-Molekül genauso viele Kohlenstoffatome enthält, wie das Kohlenstoffdioxid-Molekül, also eins. Ein Butan-Molekül enthält viermal so viele Kohlenstoffatome wie ein Kohlenstoffdioxid-Molekül, also vier. Da die elementare Zusammensetzung von Alkanen durch die allgemeine Formel $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ bekannt ist, kann man nun die Molekülformel der untersuchten Gase aufstellen.

Das Methan-Molekül hat die Formel CH_4 , das Butan-Molekül die Formel C_4H_{10} .

21.10 Neunte und zehnte Stunde: Der Versuch 9 (Teil 1 und 2)

Das Arbeiten mit dem Low-Cost-Gas-Chromatographen AK LCGC-03

Die Gas-Chromatographie ist ein Verfahren zur Trennung von Stoffen aufgrund ihrer unterschiedlichen Verteilung in zwei verschiedenen Phasen. Diese Stoffe müssen zur Trennung gasförmig vorliegen oder durch geeignete der Gas-Chromatographie kompatiblen Methoden vollständig verdampft werden können. Die beiden unterschiedlichen Phasen bestehen aus einer **stationären Phase**, welche aus hochsiedenden Flüssigkeiten, wie z.B. Paraffinöl oder in diesem Fall Siliconöl OV101 (20%) besteht, welche auf einem geeigneten Festkörpergranulat, z.B. Kieselgel oder hier Chromosorb WHP 80 - 100, aufgetragen wird und einer **mobilen Phase**, welche aus einem Trägergas, wie z.B. Luft, Stickstoff oder Helium besteht. Die spiralförmige Anordnung der eingesetzten **Trennsäule**, welche wie die gesamten Druckverbindungen aus Polyamidmaterial besteht, verbessert dabei die Auftrennung von Stoffen. Je nachdem ob der im zu analysierenden Gemisch enthaltene Stoff eher **polar** oder eher **unpolar** ist, verweilt dieser **unterschiedliche Zeit** in der Trennsäule. Stoffe, welche strukturell überwiegend unpolare Stoffgruppen enthalten, werden von der unpolaren stationären Phase besser adsorbiert und verweilen somit länger in der Säule als solche Stoffe mit überwiegend polaren Stoffgruppen. Eingeführt werden die Stoffgemische durch eine Membran, in welche die Stoffe mit Hilfe einer normalen Spritze mit aufgesetzter Kanüle eingespritzt werden. Eine herkömmliche Aquariumpumpe liefert den benötigten Druck und treibt das flüchtige Stoffgemisch mittels Luft als mobile Phase durch die Säule, wobei dieses durch **Adsorption** und **Verteilung** aufgetrennt wird. Am anderen Ende der Trennsäule befindet sich ein **Detektor**, welcher durch **Veränderung der Wärmeleitfähigkeit** gegenüber dem Trägermaterial die einzelnen im Stoffgemisch enthaltenen Stoffe erkennt und diese am angeschlossenen Ausgang beim Auftreffen als sogenannte **Peaks** registriert. Hierbei wird mit geeigneten Hilfsmitteln die Retentionszeit der einzelnen Stoffe, also der Zeitraum zwischen Einführung des Stoffgemisches und des jeweiligen Peaks Inhaltsstoffe, aufgezeichnet. Als **Detektor** wird im Low-Cost-Gas-Chromatographen eine kleine **Glühbirne mit entferntem Glaskolben** benutzt. An der von einer kleinen Elektronik mit Strom gespeisten Glühwendel strömen dann die einzelnen Stoffe vorbei und kühlen die Wendel der Glühbirne je nach Wärmeleitfähigkeitsvermögen stark ab. Durch diese Kühlung kommt dann zu einem größeren Stromfluss in der Glühwendel, welchen man mit Hilfe einer **elektrischen Verstärkung am PC** mit geeigneten Programmen als Ausschlag aufzeichnen kann. Die eingesetzte Elektronik verfügt zu diesem Zweck über eine eigene serielle Schnittstelle, welche direkt mit einem PC verbunden werden kann. Dieses Verfahren bezeichnet man im Allgemeinen als

Wärmeleitfähigkeits-Detektion (WLD). Die folgende Grafik verdeutlicht nochmals den Aufbau des Low-Cost-Gas-Chromatographen:



Bild 21.25: Aufbau des Low-Cost-Gas-Chromatographen AK LCGC-03

Die Elektronik des Low-Cost-Gas-Chromatographen ermöglicht dem Lehrer den Einsatz in Lerngruppen mit sehbehinderten und blinden Schülern, da die einzelnen Peaks von der Elektronik in **akustischen Signalen** ausgegeben werden können, deren Tonhöhe parallel zu den ansteigenden Peaks wächst, sowie auch parallel zu sich wieder abschwächenden Peaks fällt.

**Versuch 9: Gaschromatographische Untersuchung von Feuerzeuggas
mit dem Low-Cost-Gas-Chromatographen AK LCGC 03**

Zeitansatz: 30 Minuten

Chemikalien:

Methan (in Gasdose) F+

R12 Hochentzündlich

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen

Ethan (in Gasdose) F+

R12 Hochentzündlich

S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen

Propan (in Gasdose) F+

R12 Hochentzündlich

S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

Butan (in Gasdose) F+

R12 Hochentzündlich

S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

Feuerzeuggas mit Etikett „Enthält Butan“ F+

R12 Hochentzündlich

S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

Geräte: **Low-Cost-Gas-Chromatograph AK LCGC 03**
 Trennsäule 1
 Computer mit Hilfsprogramm zur Detektion
 PC-Arbeitsplätze
 Stativmaterial
 Injektionsspritzen 20 mL und 2 mL mit Kanüle
 Kolbenprober mit Hahn
 Kolbenproberhalterungen
 Membrane
 Schraubventil passend für Gasdosen
 Kamera-System mit Großbildübertragung

Versuchsbeschreibung:

Ein Kolbenprober mit Hahn wird mit Hilfe einer Injektionsspritze mit passender Kanüle zu 80 mL mit einem Gasgemisch gefüllt, bestehend aus jeweils 20 mL Methan-, Ethan-, Propan- und Butan. Dann entnimmt man mit einer kleinen Injektionsspritze mit passender Kanüle etwa 0,5 mL des erhaltenen Gasgemisches und überführt dieses in den Gaschromatographen. Dabei sollte die Kanüle so tief wie möglich in die Einspritzöffnung der Trennsäule geschoben und die Injektionsspritze mit dem Zeigefinger fixiert werden. Der Lehrer sollte den Versuchsaufbau durch Einsatz des Kamera-Systems mit Großbildübertragung für sehbehinderte und über den Tastsinn für blinde Schüler näher erläutern. Man stellt die Elektronik des Gaschromatographen so ein, dass man ein ruhiges akustisches Grundsignal erhält, welches zudem an den PC-Arbeitsplätzen von sehbehinderten Schülern optisch gut verfolgt werden kann. Es eignen sich hierbei kontrastreiche Signalfarben wie rot und blau auf dem weißen Hintergrund des Analyseprogramms sehr gut. Ist alles vorbereitet und erläutert worden startet man das Analysenprogramm und injiziert das Gasgemisch zügig in die Trennsäule. Anschließend wird die Injektionsspritze aus der Säule entfernt und die Detektion von blinden Schülern akustisch von sehbehinderten Schülern auch optisch am PC verfolgt. Nach etwa 200 Sekunden stoppt man die Aufzeichnung des Versuches und stellt das Ausgangssignal des Gas-Chromatographen für eine zweite vergleichende Messung etwas höher.

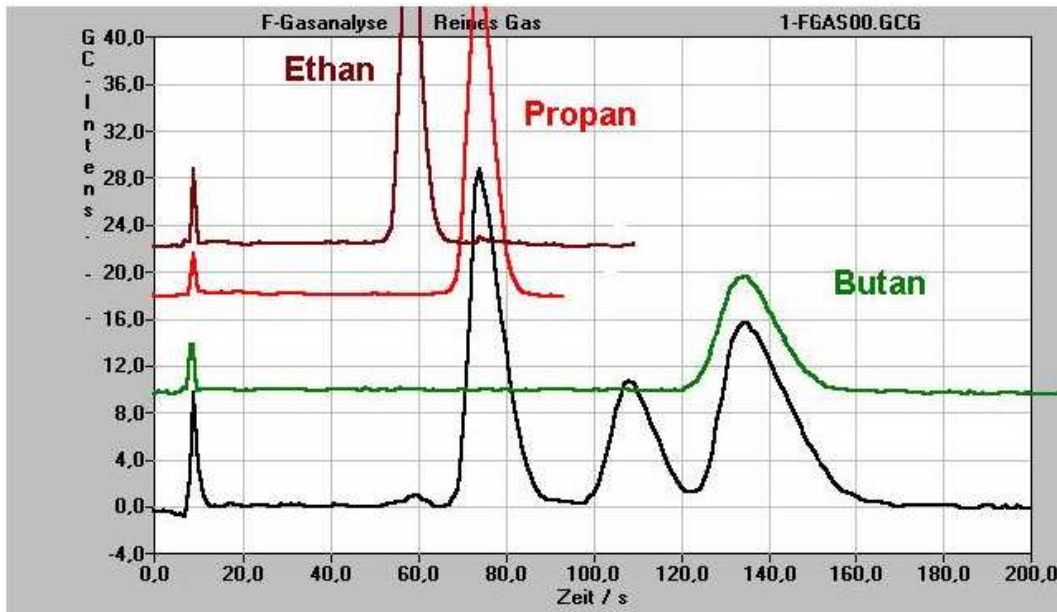


Bild 21.26: Gas-Chromatogramm des Alkan-Gemisches und von Feuerzeuggas

Vor dem Start der Messung von Feuerzeuggas sollte man eine von der ersten Farbe gut unterscheidbare zweite Farbe wählen. Der Lehrer vergrößert mit Hilfe des Kamera-Systems das Etikett „enthält Butan“ der Feuerzeugflasche auf den im Unterricht eingesetzten PC-Arbeitsplätzen. Man entnimmt einer Feuerzeuggas-Flasche die gleiche Menge Gas wie im ersten Versuchsabschnitt, etwa 0,5 mL und injiziert dieses genau wie das Gasgemisch der Alkane zuvor in die Trennsäule, während man mit der Messung der zweiten Kurve beginnt. Das Analyseprogramm lässt die erste aufgenommene Kurve als Vergleichskurve sichtbar und nimmt parallel dazu die zweite Kurve auf, welche natürlich nun einen etwas anderen Verlauf hat, wie die erste Kurve. Nach etwa 200 Sekunden bricht man ab und vergleicht beide Kurven.

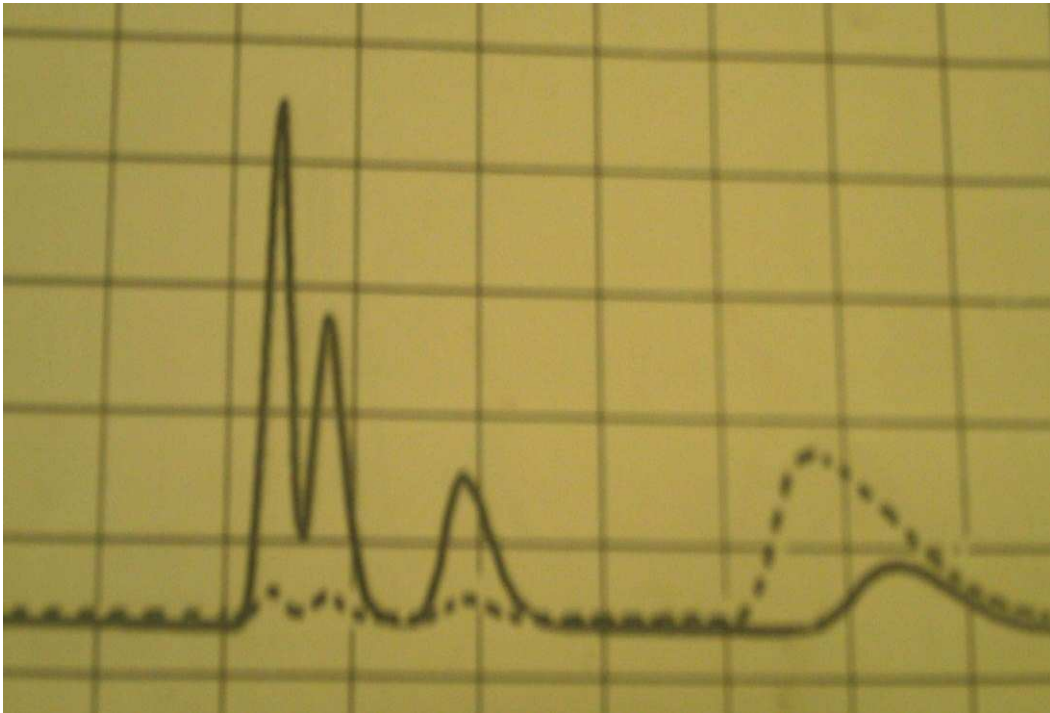


Bild 21.27: Ein Taktiles Gas-Chromatogramm

Blinde Schüler können vom Lehrer einen taktilen Ausdruck der erhaltenen Kurven erhalten. Für sehbehinderte Schüler ist der Einsatz von Vergrößerungsprogrammen wie *ZoomText*TM oder *MAGic*TM während der Versuchsdurchführung zu empfehlen. Auch sie bekommen nach Beendigung des Versuchs ein ausgedrucktes Chromatogramm zur Analyse an die Hand.

21.11 Elfte Stunde: Der Versuch 10 und die Demonstration 8**Versuch 10: Bestimmung der Molaren Masse von Feuerzeuggas im Vergleich zu Butan mittels Wägung****Zeitansatz: 15 Minuten**

Chemikalien: Butan (in Gasdose) F+
R12 Hochentzündlich
S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen
S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

Feuerzeuggas mit Etikett „Enthält Butan“ F+
R12 Hochentzündlich
S2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen
S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen

Geräte: Digitalwaage mit mg-Anzeige
Schraubventil passend für Gasdosen
Kolbenprober
Kolbenproberhalter
Stativmaterial

Versuchsdurchführung:

Man bestimmt über eine Digitalwaage das Gewicht einer Butan-Flasche. Dann entnimmt man vorsichtig mit einem Kolbenprober 100 mL Butan aus der Flasche (Achtung: Kolben des Kolbenprobers aufgrund des starken Gasdrucks immer sichern!). Anschließend wiegt man die Flasche erneut und bestimmt die Gewichts-differenz beider Messungen. Dieser Vorgang wird im zweiten Teil des Versuchs mit Feuerzeuggas wiederholt. Man bestimmt wieder die Gewichts-differenz der Anfangs- und Endmessung. Über die **Avogadro-Gleichung** kann dann die Molare Masse von Butan und Feuerzeuggas ermittelt werden. Schließlich vergleicht man beide Ergebnisse miteinander.

Beobachtung und Auswertung:

Avogadro stellte fest, dass „*gleiche Gasvolumina bei gleicher Temperatur und gleichem Druck die gleiche Anzahl von Teilchen enthalten*“ müssen. Bei einem Druck von 1013 hPa und einer Temperatur von 0 °C, also bei **Normbedingungen**, haben demnach alle („idealen“) Gase das gleiche Molvolumen von $22,4 \frac{\text{l}}{\text{mol}}$.

Es ergibt sich folgende Gleichung:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad (1)$$

wobei die Indizes die jeweiligen Größen für Temperatur und Druck, sowie das zugehörige Volumen bei den gewählten Bedingungen angeben. Bei **Standardbedingungen**, also einem Druck von 1 bar und einer Temperatur von 25 °C liegt das Molvolumen eines Gases bei etwa $24,5 \frac{\text{l}}{\text{mol}}$. Mit Hilfe zweier Gleichungen kann man dann die Molare Masse aus der Massendifferenz zwischen gleichen Volumina der gasförmigen organischen Verbindung gegenüber Luft ermitteln:

$$n(\text{Gas}) = \frac{V(\text{Gas})}{V_m} \quad \text{und} \quad M(\text{Gas}) = \frac{m(\text{Gas})}{n(\text{Gas})} \quad (2)$$

Die Messungen von **249 mg** für **Butan** und **244 mg** für **Feuerzeuggas** decken sich sehr gut. Das im Feuerzeuggas enthaltene **iso-Butan** hat somit experimentell dieselbe Molare Masse wie **n-Butan**. Nach Gleichung (2) entsprechen

$$n(\text{Butan}) = \frac{0,1 \text{ l}}{24,5 \frac{\text{l}}{\text{mol}}} = 0,0041 \text{ mol.}$$

Das entspricht

$$\begin{aligned} m(\text{Butan}) &= n(\text{Butan}) \cdot M(\text{Butan}) \\ &= 0,0041 \text{ mol} \cdot 58 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\ &= 0,238 \text{ g}, \end{aligned}$$

also **238 mg** Butan, welches unsere beobachteten Messungen unterstützt. Es ergeben sich somit **60,73 $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$** für **Butan** und **59,51 $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$** für **Feuerzeuggas**.

Demonstration 8: Die Konstitutions-Isomere von Hexan

Zeitansatz: 10 Minuten

Aufgabe: Finde alle **Konstitutions-Isomere** von Hexan.

Hilfsmittel:

- CVK™-Molekülbaukasten (Einfachbindungen, C- und H-Atome)

Durchführung:

Anhand des Molekülbaukastens sollen alle **Konstitutions-Isomere** des Hexan-Moleküls erstellt werden.

Ergebnis:

Es existieren **fünf Isomere** des Hexan-Moleküls der Summenformel C_6H_{14} :

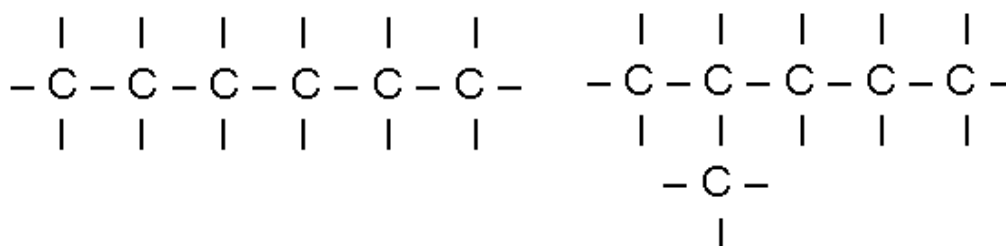


Bild 21.28: n-Hexan und 2-Methyl-pentan

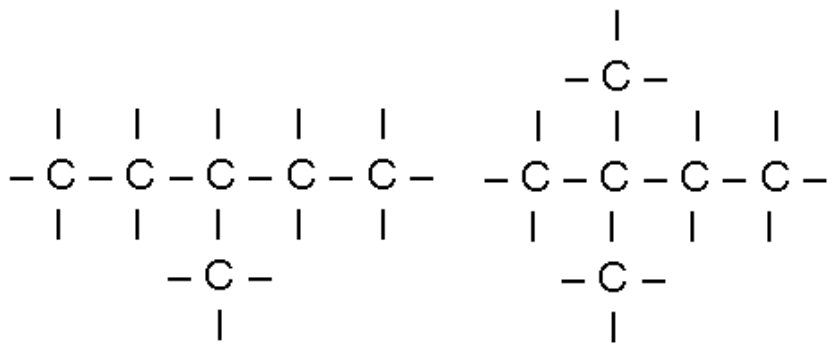


Bild 21.29: 3-Methyl-pentan und 2,2-Di-methyl-butan

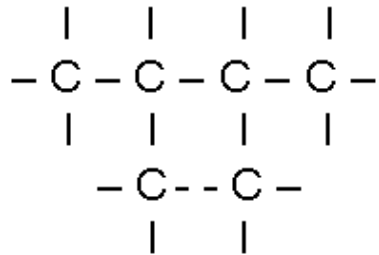


Bild 21.30: 2,3-Di-methyl-butan

21.12 Zwölfte Stunde: Die Demonstration 9

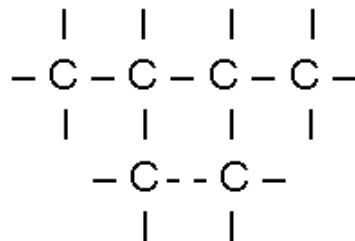
Demonstration 9: Anwendung der IUPAC-Regeln**Zeitansatz: 5 Minuten****Aufgabe: Wende die gelernten IUPAC-Regeln am Beispiel des folgenden Hexan-Isomers an.**

Bild 21.29: 2,3-Di-methyl-butan

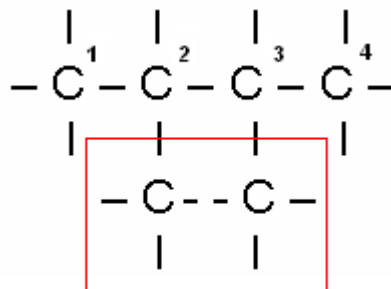
Ergebnis:Am Beispiel der Verbindung **2,3-Di-methyl-butan** sieht das folgendermaßen aus:

Bild 21.30: Bestimmung des Namens von 2,3-Di-methyl-butan

1. Die längste Kohlenstoffkette, eine Kette mit vier Kohlenstoffatomen, bildet hier den Stammnamen, also **Butan**.

2. An der Hauptkette befinden sich zwei weitere Seitenketten, hier rot markiert. Diese haben jeweils ein Kohlenstoffatom, deshalb leitet sich ihr Name vom bekannten Methan ab. Man ersetzt die Endung **-an** durch die Endung **-yl** und erhält zwei **Methyl**-Gruppen, also **Di-methyl**.

3. Die beiden Seitenketten sitzen an den Kohlenstoffatomen 2 und 3 der Hauptkette, also **2,3-Di-methyl**.

4. Da hier nur Methyl-Gruppen als Seitenketten vorliegen, erhält man den Namen der Verbindung: **2,3-Di-methyl-butan**.

Information: An dieser Stelle können weitere Alkane anhand von Modellen nach der *IUPAC*-Nomenklatur benannt werden.

22 Drehbuch zum Hörspiel „Die Neuorientierung der Chemie“

Erzähler:

Professor Berzelius saß nach getaner Arbeit im Labor wieder an seinem mit Manuskripten überhäuftem Schreibtisch und schrieb an seinem neuesten Werk, als ihm, wie so oft in letzter Zeit, die Tinte ausging.

Professor Berzelius:

„Oh Mann, das gibt's doch gar nicht. Da steht man sich tagaus tagein am Labortisch die Beine in den Bauch, rackert sich ab und wenn man dann seine Gedanken niederschreiben will, ist dieses blöde Tintenfasschen leer. Das ist doch zum Haare raufen.

(Denkpause)

Zum Glück hab ich keine mehr!“

(lacht)

Erzähler:

Schmunzelnd ging Professor Berzelius zum großen, mit silbernen Intarsien verzierten Eichenschrank, um von dort sein Tintenfasschen nachzufüllen, als plötzlich Mathilda, seine Königspudeldame mit lautem Gebell Richtung Eingangstür stürmte.

(Hundegebell)

Professor Berzelius:

„Na wer kann das um diese Uhrzeit noch sein?“

Erzähler:

Aufgeschreckt von diesem Tumult begab sich Professor Berzelius an die Eingangstür, um nach dem Rechten zu sehen.

(Tür geht auf)

Professor Berzelius:

„Ah sieh da, der Postmann, womit erfreut er uns diesmal?“

Erzähler:

Der Postmann, ein langer schlaksiger Kerl mit schwarzem Oberlippenbart und Brille erschrak zunächst, als ihn die kleine Königspudeldame vor Freude ansprang. Er erwiderte sogleich, er solle eben diesen Brief unverzüglich zu Herrn Professor Berzelius bringen, es wäre sehr wichtig. Dabei wedelte er ein ziemlich mitgenommenes Stück Papier in seiner linken Hand hin und her.

Professor Berzelius:

„So, so, sehr wichtig also wie? Mal sehen wer jetzt schon wieder was von mir will.“

Erzähler:

Professor Berzelius schlug hastig die Tür zu ohne den Postmann nochmals zu Wort kommen zu lassen und eilte geschwind mit dem Brief fest in der Hand an seinen Arbeitsplatz.

Professor Berzelius:

„Ist schon ein komischer Kauz dieser Postmann, weiß gar nicht was du an ihm findest Mathilda.“

(lacht, Brieföffnen)

Hmm, mal sehen. Oh, mein alter Freund Wöhler schreibt mal wieder.

(ratlos)

Hab doch vor drei Wochen erst einen Brief von ihm bekommen. Hmm, Moment, da fällt mir ein, ich hab ganz vergessen ihm einen Antwortbrief zu schreiben.

(Professor Berzelius brüstet sich)

Bin halt ein beschäftigter Mann, das muss man verstehen.

(normal weiter, schmunzelnd)

Nun gut, mal sehen was ihm auf dem Herzen liegt. Wahrscheinlich geht es wieder nur um eine Frauengeschichte...“

Erzähler:

Er begann den Brief zu lesen, wobei er tief in seinen ledergepolsterten Arbeitsstuhl sank, um den Brief in einer entspannteren Haltung auf sich wirken zu lassen.

(Spannung aufbauen)

Doch mit den Zeilen, die er dort zu lesen bekam, war es mit der erhofften Entspannungsphase schnell wieder vorbei.

Wöhler:

„Berlin, 22. Februar 1828

Lieber Herr Professor Berzelius,

ich hab Angst, Sie mit meinen vielen Briefen von Ihrer wichtigen wissenschaftlichen Arbeit abzuhalten. Aber ich kann es kaum erwarten einen Brief von Ihnen zu bekommen. Ich bin gespannt auf Ihre Eindrücke bezüglich meiner wie ich finde doch sehr spektakulären Untersuchungen zum Beryllium.

Und dennoch schreibe ich Ihnen hier schon wieder in einem Zustand des unendlichen Glücks. Ich kann sozusagen mein chemisches Wasser kaum noch halten und es brennt mir auf der Zunge, zu gerne würde ich Ihnen in einem persönlichen Gespräch erläutern, was ich entdeckt habe.

(Denkpause, dann Spannung erzeugen)

Halten Sie sich fest:

(enthusiastisch)

Ich kann Harnstoff machen, ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Tier oder einen Menschen nötig zu haben!

(normal weiter, leicht aufgeregt)

Erinnern Sie sich noch als ich ihnen in meinem letzten Brief auch meine Gedanken zur Reaktion von Cyansäure mit Ammoniak mitteilte? Damals in Ihrem Labor, zu der Zeit, als ich noch in ihrer Ausbildung stand, arbeitete ich schon an eben dieser Umsetzung und mir war das entstandene Reaktionsprodukt undefinierbar. Als ich in meinen Aufzeichnungen diese Beobachtung wiederfand, wollte ich mich nochmals daran begeben, dieses Rätsel zu lösen. Nach einigen Experimenten lag mir der Verdacht nahe, dass sich bei dieser Reaktion ein Salz gebildet hat, welches uns beiden schon bei der Behandlung menschlichen und tierischen Urins bekannt war.

Die genauere Untersuchung der erhaltenen Verbindung ergab, dass sich durch die gewählten Reaktionsbedingungen die Ausgangsstoffe Cyansäure und Ammoniak zu einem von Ihnen unterscheidbaren Stoff vereinigten. Dieser Stoff hat meines Erachtens organischen Charakter!

Glauben Sie mir, dieser Augenblick der Erleuchtung soll mein Leben und die ganze Chemiewelt auf den Kopf stellen! Ich musste die Tatsachen, die ich nach langer Experimentierzeit freilegte, jetzt nur noch mit Hilfe unserer entwickelten Analysemethoden nachweisen. Während meiner Zeit im Labor gelang es mir zu bestätigen, dass mein synthetisiertes Salz und der Harnstoff, welchen ich aus menschlichem Urin extrahierte, ein und derselbe Stoff sind.

Mein lieber Freund, ich hab auf unnatürlichem Weg Pisse-Harnstoff hergestellt! Dazu brauch man weder einen Organismus zu betrachten, noch den Stoff aus der Natur zu extrahieren.

(enthusiastisch)

Was für eine bahnbrechende Entdeckung, finden Sie nicht?

(wieder auf dem Teppich)

Entschuldige guter Freund, ich bin nur voll des Glückes was mir widerfuhr. Weiterhin bin ich der festen Überzeugung, dass man durch eine andere Art der Vereinigung der beiden Stoffe Cyansäure und Ammoniak, neben dem von mir entdeckten organischen Salz, ebenso ein anorganisches Salz gewinnen kann. Das bedarf jedoch noch weiterer Untersuchungen meinerseits. Dies würde auch die Ansicht unseres Kollegen Gay-Lussac bestätigen, der schon lange vermutete, dass man durch die Vereinigung zweier Stoffe, durch geeignete Reaktionsbedingungen, verschiedene Produkte erhalten kann. Uns beiden bleibt jetzt nur noch zu zeigen, dass die von mir gemachte Beobachtung nicht nur auf die Verbindungen Harnstoff und cyansaures Ammoniak zutrifft, sondern sich auf viele andere Verbindungen verallgemeinern lässt.

Das wäre, mein Freund, der wahre Durchbruch in der Chemie und würde uns, in unserem Denken und Handeln, ein Stück näher zum Verstehen der Welt und ihrer Uneigenheiten führen. Ein Naturphilosoph würde bestimmt sagen, dass man zur Gewinnung von Cyansäure und Ammoniak immer ursprünglich eine organische Substanz besitzen muss. Somit schlussfolgere ich, dass die beiden Ausgangsstoffe Cyansäure und Ammoniak bei ihrer Gewinnung ihren organischen Charakter nie verloren haben, obwohl, da werden Sie mir zustimmen, es unzweifelhaft anorganische Stoffe sind. Ich frage Sie mein Freund, unterschreiben Sie mir als größter Chemiker unserer Zeit, dass meine künstliche Harnstoffgewinnung als ein Beispiel für die Bildung einer organischen Verbindung aus anorganischen Stoffen betrachtet werden kann?

Mit freundlichem Gruß

Ihr Friedrich Wöhler.“

Erzähler:

Professor Berzelius rieb sich die Augen. Konnte das wahr sein? Sein eigener Schüler hatte das **Bindeglied** zwischen **Anorganischer** und **Organischer Chemie** gefunden? Aber dann war seine alte **vis-vitalis-Theorie** von lebenden Organismen und toter Materie widerlegt. Widerlegt von seinem eigenen Schüler. War Wöhler wirklich in der Lage so eine bahnbrechende Entdeckung zu machen? Zugegeben, er war in seiner Ausbildungszeit immer der Klassenprimus und Professor Berzelius lies nichts über ihn kommen.

Professor Berzelius:

„Kann das wirklich sein, Mathilda? Meine Theorie, widerlegt?“

Erzähler:

Er schaute seine Hundedame tief in die Augen und streichelte sie über ihr weiches Fell.

(zweifelnd)

Professor Berzelius:

„Ist es sogar möglich dich Mathilda, aus anorganischen Stoffen zu reproduzieren?“

Erzähler:

Ihm wurde ganz schwindelig. Er stand von seinem Arbeitsstuhl auf und schwankte ins Schlafzimmer, wo er sogleich auf sein Bett fiel.

Professor Berzelius:

„Ich muss erstmal darüber nachdenken. Nein, ich muss erstmal darüber schlafen! Es war ein langer und anstrengender Tag.

(müde)

Erstmal drüber schlafen, das wird wohl in diesem Augenblick das Beste sein...“

Erzähler:

Noch bevor er diesen Satz vollenden konnte schlief er ein.

(Denkpause)

Am nächsten Morgen wachte Professor Berzelius erst sehr spät gegen Mittag auf. Umso zielstrebigter rannte er, nachdem ihm die Sache mit dem Brief wieder in den Sinn gekommen

war, an seinen Arbeitstisch, um den Brief nochmals gründlich zu studieren.

Professor Berzelius:

„Es ist wohl war, Wöhler hat es geschafft. Ich mache mich sofort an die Arbeit und werde ihm einen Brief schreiben, ich will mehr über diese Entdeckung erfahren. Ich will schließlich nicht dumm sterben und Wöhler hat im Namen aller Wissenschaftler **Dank** und **Anerkennung** verdient.“

Erzähler:

Sofort begab sich Professor Berzelius an die Arbeit einen Antwortbrief zu verfassen...

Professor Berzelius:

„Stockholm, der 7. März 1828,

Lieber Herr Doktor,

Ihre Nachricht über diese großartige Entdeckung hat mich sehr erstaunt und gefreut. Ihnen ist wirklich der Aufstieg zu einem der größten Chemiker unserer Zeit gelungen. Ihre Unsterblichkeit, so lassen Sie es mich bezeichnen, fing damals in meinem Labor beim Urin an und endet offensichtlich auch in dieser von Ihnen detailliert geschilderten Beobachtung. Es ist eine recht wichtige und hübsche Entdeckung, die Herr Doktor da gemacht hat und es erfreut auch mein altes Herz mit Glück. Ich finde es einen recht sonderbaren Umstand, dass die anorganischen Stoffe Cyansäure und Ammoniak bei ihrer Vereinigung den anorganischen Salzcharakter aufgeben können. Diese Tatsache, welche Sie in beeindruckender Weise dargelegt haben, wird für künftige Theorien, da bin ich mir sicher, noch von sehr großer Bedeutung sein. So wird es in naher Zukunft sicher möglich sein, bei Erschöpfung der Harnstoffvorräte während der nächtlichen Laborarbeit, in einfacher Sublimationsreaktion direkt aus dem Nachtopf einen neuen Vorrat zu gewinnen.

(lacht)

Aber erinnern Sie sich im Taumel Ihrer von mir durchaus gegönnten Freude über diese Entdeckung daran, nicht von Ihrem eigentlichen Schaffen in der anorganischen Chemie abzulassen. Das Beryllium ist ebenso wichtig und muss auf jeden Fall von Ihnen weiterstudiert werden.

Gruß und Freundschaft

Berzelius.“

Erzähler:

Professor Berzelius schaukelte nervös auf seinem Stuhl hin und her, als er mit der Erstellung des Briefes fertig war. Er konnte es kaum erwarten seinen „lieben Freund“ den Postmann klopfen zu hören... War das der Beginn eines neuen Weltbilds für die gesamte Menschheit?

23 Louis Braille und die Entwicklung der Blindenschrift

a) Brailles schicksalhafte Jugendjahre

Louis Braille wird am 4. Januar 1809 in Coupvray, einem Vorort von Paris, als Sohn eines Lederkunsthändlers geboren. Er wächst als sehr neugieriger und aufgeweckter Junge in unmittelbarer Nähe zur Werkstatt seines Vaters auf, wobei er eines Tages durch eine Unvorsichtigkeit sein Augenlicht verliert. Dem dreijährigen *Louis* entgleitet beim Spielen eine Ahle aus der Werkstatt seines Vaters und trifft dabei auf eines seiner Augen, welches sich einige Tage später infolge eindringender Bakterien entzündet. Durch die Schwere der Entzündung wird auch das zweite Auge von Bakterien befallen, sodass *Braille* sein gesamtes Augenlicht verliert und vollkommen erblindet. Im Jahr 1815 nimmt sich *Abbé Palluy* seiner an und lehrt ihm durch einen speziell angepassten Unterricht, sich im Umgang mit alltäglichen Problemen zurechtzufinden. Durch seine überdurchschnittliche Intelligenz und seinem großen Drang immer wieder Neues zu entdecken, lernt *Louis Braille* trotz seiner Behinderung seine Umwelt zu verstehen. Ein Jahr später kommt er in die Schule zu *Antoine Bécheret*, dem damaligen Lehrer von Coupvray, um von ihm eine zweijährige Ausbildung zu erhalten. Seine Mitschüler betrachten ihn als vollwertiges Mitglied des Klassenverbandes, was ihm das Selbstvertrauen zurückgibt, welches ihm seit seinem Unfall abhanden gekommen war. Die Einführung des „*Einseignement mutuel*“, ein zur damaligen Zeit äußerst innovatives Unterrichtssystem, bei dem die Schüler ihre eigenen Mitschüler unterrichten sollen, führt schließlich zur Lernstagnation *Brailles*. Er fühlt sich in diesem System nicht sehr wohl, was sich auch in seinen Leistungen widerspiegelt. Seine Eltern bemerken dies und geben ihr Kind schließlich in die Obhut des „*Institut des jeunes aveugles*“ im Herzen von Paris.

b) Brailles Ausbildung am „Institut des jeunes aveugles“

Braille wechselt am 15. Februar 1819 mit großer Zuversicht in seine neue Unterrichtsstätte am „*Institut des jeunes aveugles*“, dem zur damaligen Zeit führenden Internat für blinde und sehbehinderte Schüler in Paris. Anfangs muss er sehr hart arbeiten, um sich in der neuen Umgebung einzuleben. Einer der wenigen Freunde in seiner neuen Klasse ist ein Junge namens *Gauthier*, dessen Unterstützung während *Brailles* Arbeit über die Entwicklung neuer Schriftmethoden für Blinde eine große Hilfe sein sollte. Während des Unterrichts am Institut

lernt der kleine *Louis* sehr viel über die französische Grammatik, die Mathematik, geographische Aspekte und die Geschichte der Menschheit. Er wird im Laufe der Zeit bester Schüler seiner Klasse. Durch die neu erfahrenen Lehrmethoden seiner Lehrer, welche sich auf einem eher narrativen Frontalunterricht stützen, wird seine Lerngruppe ziemlich effektiv an die wichtigsten Aspekte und Probleme des Lebens herangeführt. Das Lesen von Lektüren wird den blinden Schülern der Klasse durch das damals übliche System von *Valentin Haüy* ermöglicht. Dieses Schriftsystem besteht aus kleinen, aus plastischem Material geformten Buchstaben, welche durch Abtasten sowohl von sehbehinderten, als auch von blinden Schülern aufgenommen werden können. Der Nachteil dieses Systems im Vergleich zu den heutigen für blinde Schüler optimierten Punktschriftsystemen ist jedoch, dass es sich nicht für ungeübte Lesehände eignet. *Haüy*s Schriftsystem ist für blinde Schüler sehr schwer differenzierbar und nicht transparent genug. *Braille* findet in der Zeit im „*Institut des jeunes aveugles*“ auch zur Musik. Die Musiklehrer des Instituts ermöglichen es ihm sich im Umgang mit dem Klavier zu üben.

c) Die Entwicklung der Brailleschrift

Im Sommer 1819 stellt *Charles Barbier*, ein fast fünfzigjähriger Artilleriehauptmann im Dienste des französischen Reiches eine von ihm entwickelte tastbare Schrift vor, welche im Militärwesen eingesetzt werden soll, um hauptsächlich Befehle auch während der Nacht lesen zu können. Diese Schrift besteht anders als das *Haüy-System* aus Punkten, welche in einer rechtwinkligen Kombination die verschiedenen Buchstaben des Alphabets darzustellen vermögen. *Barbiers* Fantasie war es, mit seinem neu entwickelten System das Blindenwesen zu revolutionieren. Er bittet im Folgejahr um eine Unterredung mit dem damaligen Leiter des „*Institut des jeunes aveugles*“ *Guillié*. Dieser kritisiert dieses neu entwickelte System aufgrund seiner langjährigen Erfahrung mit blinden Schülern jedoch zu sehr, sodass *Barbiers* Projekt zunächst auf Eis gelegt wird. Das System ist für den Lesenden einfach noch zu komplex und zu schwer zu ertasten, sodass *Guillié* ihm vorschlägt, das System weiterzuentwickeln und zu optimieren. Auch die Schüler des Instituts, insbesondere *Louis Braille*, diskutieren das von ihm entwickelte System, was dazu führt, dass sich der nun elfjährige *Braille* daran macht, die Sonographie *Barbiers* selbständig zu verbessern. Nach einer arbeitsreichen Zeit bittet er um eine Audienz bei *Barbier*, zu dem ihm *Guillié* dann auch schließlich verhilft. Diese Unterredung bringt *Braille* jedoch nicht nah genug an die Ideen des Artilleriehauptmanns heran, da dieser im Stolz durch diesen jungen Burschen gekränkt, nicht viel von den vorgestellten Neuerungen hält. Frustriert aber keineswegs entmutigt zieht sich

Braille in seine Kammer zurück und beginnt schlussendlich mit der Entwicklung eines neuen Blindenalphabetes, welches seinen eigenen Namen tragen soll.



Bild 23.1: Louis Braille (1809 - 1852)

Nach jahrelanger Arbeit veröffentlicht der *Braille* im Oktober 1824 seine nach ihm benannte ***Braille-Schrift***, welche aus einem Sechs-Punkte-System besteht, wobei 63 Kombinationen alle Buchstaben des Alphabets, die Ziffern 0 bis 9 und sogar die mathematische Operationssymbolik verbildlichen. ***Pegnier***, der neue Direktor und Leiter des Instituts, lässt die neu entwickelte Schrift sogleich im gesamten Institut einführen. Im Gegensatz zu den älteren Punktschriftsystemen liegt der Vorteil der *Braille-Schrift* darin, dass die blinden und sehbehinderten Schüler nun in der Lage sind, im Unterricht Notizen zu machen und diese auch nach dem Unterricht in ihrer Freizeit taktil nachvollziehen und nacharbeiten können. Außerhalb des Instituts wird diese Leistung des neu entwickelten Blindenschrift-Systems allerdings nicht beachtet. Offiziell halten die Schulen Frankreichs während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts immer noch am „altbewährten“ Blindenschrift-System von *Haüy* fest. Auch *Barbier* will seine veraltete und bei Weitem nicht optimale Schrift in Frankreich als das Non-Plus-Ultra verkaufen.

Brailles gute Leistungen am „*Institut des jeunes aveugles*“ lassen während der gesamten Schullaufbahn niemals nach. Er nimmt jedes Jahr neue Preise für seine schulischen

Leistungen entgegen und darf sogar noch während seiner Schulzeit andere Schüler eigenständig unterrichten. Im Jahre 1828 wird er zum Professor ernannt und ein Jahr später bringt der zwanzigjährige *Braille* sein Erstlingswerk unter dem Namen „*Procédé pour écrire des paroles, la musique et le planchant, au moyen de points á l'usage des aveugles et disposés pour eux*“ heraus. *Pegnier* unterstützt ihn in all seinem Handeln und nimmt ihn oft zu großen öffentlichen Anlässen mit, wo das Wunderkind *Braille* sein Können unter anderem auch am Klavier unter Beweis stellt. In jeder freien Minute arbeitet dieser an seinem Lebenswerk, einer Übersetzung von Partituren für die Orgel in Blindenschrift. 1833 veröffentlicht er diese Arbeit schließlich und ihm wird der Posten des Organisten an der „*Notre Dame des Champs*“ angeboten, welche er darauf dankend entgegen nimmt.

d) Das Ende des großen Denkers Braille

Drei Jahre später, *Braille* arbeitet immer intensiver an einer Verbesserung seiner Schrift, erleidet er einen Blutsturz. Die Ärzte diagnostizieren Lungentuberkulose, welche zum damaligen Zeitpunkt als unheilbar gilt. Er wird von *Pegnier* von seiner Arbeit am Institut freigestellt und gönnt sich einige Ferienaufhalte und Kuren auf dem Lande, welche ihm sichtlich gut tun. *Braille* nimmt ein Jahr später seine Arbeit am Institut wieder auf. Sein Freund und Förderer *Pegnier* wurde in der Zwischenzeit durch eine Intrige von seinem Posten enthoben. *Dufan* ist nun neuer Leiter des Instituts und sehr schlecht auf *Braille* zu sprechen. Auch mit den anderen Blinden des Instituts verscherzt es sich *Dufan* immer mehr. Doch *Braille* lässt sich nicht unterkriegen. Er wagt sich an ein noch größeres Projekt heran, in der er versucht eine Schrift zu entwickeln, die Blinde und Sehende gleichermaßen ohne größere Probleme lesen können. Wie in der *Braille-Schrift* sollen hierbei Punkte so aneinandergereiht werden, dass sie für Blinde noch gut tastbar bleiben. Sehende sollen aus diesen Punkten Figuren erkennen, wobei jede Figur einen Buchstaben darstellen soll. Er nennt diese Schrift ***Raphigraphie*** und stellt diese in den 1840er Jahren fertig. Bis dato bekam *Braille*, bis auf eine einzige Aufmerksamkeit in Form eines Schreibens des Innenministers, keinerlei Unterstützung in seinem Handeln von der französischen Regierung. Nach dem Rauswurf von *Pegnier* ist es für *Braille* fast unmöglich, seine *Schrift* als Standard-Schrift am Institut zu etablieren. Der neue Institutsleiter *Dufan* boykottiert die von ihm entwickelte Schrift bis auf das Äußerste. Doch *Louis Braille* lässt sich nicht entmutigen; alte Freunde, wie z.B. sein Schulkamerad *Gauthier*, helfen ihm diese Niederlagen ohne größeren Schaden hinzunehmen. Am 09. Juni 1841 erhält er ein Schreiben des österreichischen Königs, mit der Bitte, einen blinden Prinzen zu unterrichten. Dieses Angebot lehnt er jedoch aufgrund seiner

gesundheitlichen Probleme in seinem wie immer großem Hang zum Understatement dankend ab. Nach den immer größer werdenden Schwierigkeiten mit *Dufan* erleidet *Braille* 1843 erneut einen Blutsturz und begibt sich abermals zur Kur aufs Land. Ein halbes Jahr später kehrt er an seine alte Wirkungsstätte zurück, welche sich nun in einer neuen Örtlichkeit in Paris befindet. *Dufans* Einstellung zu *Brailles* Blindenschrift scheint sich während seines Kuraufenthaltes entspannt zu haben. Schließlich kann *Braille* mit Hilfe einiger Freunde *Dufan* dazu bewegen, die *Braille-Schrift* an der Schule als offizielle Blindenschrift zuzulassen. Sie etabliert sich sogar zur einzig zugelassenen Methode, blinden und sehbehinderten Menschen das Lesen und Schreiben am Institut beizubringen. Einige Zeit später wird die *Braille-Schrift* auch überregional als offizielle Blindenschrift des Landes anerkannt. Am 22. Februar 1844 feiert *Braille* seine Errungenschaften im Kreise des Instituts. Ihm werden einige Ehrungen zu Teil, welche er sich durch jahrelange harte Arbeit unter größter körperlicher Hingabe erkämpft hat. Kurz nach dieser Feier kommt es zu einem gesundheitlichen Rückfall *Brailles*, worauf *Dufan* ihn endgültig von seinen institutionellen Pflichten enthebt. *Dufan* bietet ihm an, seinen Lebensabend im Institut zu verbringen. In seinen letzten Jahren hilft der gütige *Braille* den blinden und sehbehinderten Menschen in seiner Umgebung wo er kann, bis er schließlich am 06. Januar 1852 im Kreise seiner Kameraden und Schüler stirbt. [32]

24 Das Braille-System in der deutschen Blindenvollschrift

Deutsche Blindenvollschriftzeichen

in "braille'scher" Reihenfolge

Reihe 1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

Grundreihe: mit jeweils mindestens einem Punkt oben und links, keinem unten.

Reihe 2

K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T

Zusatzpunkt 3 zu den Zeichen der Reihe 1

Reihe 3

U	V	X	Y	Z		ß*	st

Zusatzpunkte 3,6 zu den Zeichen der Reihe 1

* bis 1998 in der Schweiz auch: **ss**

Reihe 4

au	eu	ei	ch	sch		Ü	Ö	W

Zusatzpunkt 6 zu den Zeichen der Reihe 1

Reihe 5

,	;	:	?	!	()	„	*	“

Die Zeichen der Reihe 1 um einen Punkt tiefer

Reihe 6

.	-	äu	ie	Ä	#

Die übrigen Zeichen mit einem Punkt links (alle mit Punkt 3)

Reihe 7

(1)	(2)	(3)	(4)	'

Die Zeichen mit Punkten nur auf der rechten Seite

Als Ankündigungszeichen vor:

- (1) einem Buchstaben mit einem Akzent- (diakritischen) Zeichen
- (2) einem Einzelnen oder einer Reihe von Grossbuchstaben
- (3) einem hervorzuhobenden Wort
- (4) einem Gross- mit folgenden Kleinbuchstaben

V. Aldridge
Apr. 1998/Feb. 1999/
Nov. 2002

25 Das Periodensystem der Elemente in *LiTeX* (Kurzform)

1 H 1,008							2 He 4,003
3 Li 6,94	4 Be 9,01	5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18
11 Na 22,99	12 Mg 24,31	13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,95
19 K 39,10	20 Ca 40,08	31 Ga 69,72	32 Ge 72,59	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,80
37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	49 In 114,82	50 Sn 118,69	51 Sb 121,75	52 Te 127,60	53 I 126,90	54 Xe 131,30
55 Cs 132,91	56 Ba 137,34	81 Tl 204,37	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra 226,03						

26 Konzept eines neuen Periodensystems für sehgeschädigte Schüler

Gruppe ⠠⠠⠠⠠⠠⠠	1	2	3	4	5	6	7	8
Periode ⠠⠠⠠⠠⠠	⠠⠠	⠠⠠⠠	⠠⠠⠠⠠	⠠⠠⠠	⠠⠠	⠠⠠⠠	⠠⠠⠠⠠	⠠⠠⠠⠠⠠
1 ⠠⠠	1 H 1							2 He 4
2 ⠠⠠⠠	3 Li 7	4 Be 9	5 B 11	6 C 12	7 N 14	8 O 16	9 F 19	10 Ne 20
3 ⠠⠠⠠⠠	11 Na 23	12 Mg 24	13 Al 27	14 Si 28	15 P 31	16 S 32	17 Cl 35	18 Ar 40
4 ⠠⠠⠠	19 K 39	20 Ca 40	31 Ga 70	32 Ge 73	33 As 75	34 Se 79	35 Br 80	36 Kr 84
5 ⠠⠠	37 Rb 85	38 Sr 88					53 I 127	54 Xe 131
6 ⠠⠠⠠	55 Cs 133	56 Ba 137						

Literaturverzeichnis

- [1] Möckel, Andreas: **Geschichte der Heilpädagogik.** Klett-Cotta. Stuttgart, 1988. S. 49-70
- [2] Aitken, S / Buultjens, M: **Vision for Doing: assesing functional vision in learners who are multiply disabled (Sensory Series No. 2).** Moray House Publications. Edinburgh, 1992
- [3] Bertram, B: **Blindheit und Sehbehinderung in Deutschland: Ursachen und Häufigkeit.** Der Augenarzt. 39. Jahrgang. 6. Heft. Kaden-Verlag. Heidelberg, Dezember 2005. S. 267-268
- [4] http://www.absv.de/sbs/sbs_intro.html#auswahl (letztes Abrufdatum 16.05.2006)
- [5] **Hessisches Kultusministerium. Nachteilsausgleich für Menschen mit Behinderung bei Prüfungen und Leistungsnachweisen.** Wiesbaden, 2006
- [6] Theiß-Klee, Heidi: **Punktschrift für Anfänger. Wie erlerne ich als Sehender die Blindenvollschrift?** Verlag der Deutschen Blindenstudienanstalt e.V. Marburg, Januar 2006
- [7] <http://www.baum.at/de/produkte/superpocketvario.html> (letztes Abrufdatum 01.05.2006)
- [8] Fischer, Claudia Agnes / Ullrich Rudi: **Carl-Strehl-Schule eine besondere Schule für Blinde und Sehbehinderte.** Verlag der Deutschen Blindenstudienanstalt e.V. Marburg, 2006
- [9] Liese, W / Bender, G: **Leistungsfähige Computertechnik bereichert den Chemieunterricht.** blista-news 1/2002. Verlag der Deutschen Blindenstudienanstalt e.V. Marburg, 2002
- [10] <http://www.dr-kaiser2.de/pc-waechter.0.html> (letztes Abrufdatum 04.05.2006)
- [11] <http://www.mastersolution.de/index1726861.htm> (letztes Abrufdatum 01.05.2006)
- [12] <http://www.freedomsci.de/prod01.htm> (letztes Abrufdatum 03.05.2006)
- [13] http://www.linguatec.de/products/tts/voice_reader (letztes Abrufdatum 24.05.2006)
- [14] <http://www.freedomsci.de/prod02.htm> (letztes Abrufdatum 16.05.2006)
- [15] <http://www.flusoft.de/zoomtext> (letztes Abrufdatum 16.05.2006)
- [16] Liese, W: **Einfaches Erstellung von Formeln und Gleichungen mit LiTeX.** horus - Marburger Beiträge zur Integration Blinder und Sehbehinderter Ausgabe 4/2003. Marburg, 2003

- [17] Liese, W.: Formeln und Gleichungen am PC: LiTeX stellt umfassende Möglichkeiten für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht mit Blinden und Sehbehinderten bereit. 2006
- [18] Hertlein, J: Das System der Chemieschrift in der deutschen Blindenschrift. Marburger Systematiken der Blindenschrift Teil 23. Verlag der Deutschen Blindenstudienanstalt e.V. Marburg, 2005
- [19] Beyermann, K.: Molekülmodelle Ein anschaulicher Weg zur Chemie. Verlag Chemie GmbH. Weinheim 1979
- [20] Hessisches Kultusministerium. Lehrplan Chemie Gymnasialer Bildungsgang Jahrgangsstufen 8 bis 13. Wiesbaden, 2006
- [21] <http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/tip/brief.htm> (letztes Abrufdatum 15.05.2006)
- [22] Heisenberg, W.: Der Teil und das Ganze. 8. Auflage 1984. R. Piper & Co. Verlag. München, 1969
- [23] Oberpaul, P.: Kohlenstoff - seine Elementmodifikationen -Vortrag im Rahmen der "Übungen im Vortragen mit Demonstrationen - Anorganische Chemie". Universität Bayreuth, WS 2001/02
- [24] Blume, R. / Hildebrand, A.: Fullerene in der Schule. Universität Bielefeld, 1997
- [25] http://organische_chemie.know-library.net/ (letztes Abrufdatum 15.05.2006)
- [26] Waizenegger, B.: Chemiereferat Biogas unter www.seilnacht.com/referate/biogas01.htm (letztes Abrufdatum: 22.05.2006)
- [27] Duncker, L / Popp, W.: Fächerübergreifender Unterricht in der Sekundarstufe I und II. Verlag Julius Klinkhardt. Bad Heilbrunn, 1998
- [28] <http://www.keplerraum.at/biogr.html> (letztes Abrufdatum 22.05.2006)
- [29] Gebelein, H.: Alchemie. Diederichs Gelbe Reihe. Kreuzlingen / München, 2000.)
- [30] Heisenberg, W.: Gesammelte Werke, Band C2. W. Blum et al. Piper Verlag GmbH. München, 1984
- [31] Berg, H.C. / Schulze, T.: Lehrkunst. Lehrbuch der Didaktik. Hermann Luchterhand Verlag GmbH. Neuwied / Kriftel / Berlin, 1995
- [32] http://www2.gribus.at/isis/sensibilisierung/braille/l_braille.html (letztes Abrufdatum: 23.04.2006)

Bildverzeichnis

a) Übernommene Fotos und Grafiken in geordneter Reihenfolge:

Bild 1.1: Valentin Haüy (1745 - 1822)

von www.stamps.journalclub.org/stampgifs/106.jpg (letztes Abrufdatum: 30.05.2006)

Bild 1.2: Johann Wilhelm Klein (1765 - 1848)

von <http://www.aeiou.at/aeiou.encyclop.data.image.k/k422691a.jpg> (letztes Abrufdatum: 30.05.2006)

**Bild 1.4: Retinopathia Pigmentosa (links) und Makula-Degeneration (rechts)
pathina Pigmentosa (rechts)**

von <http://www.absv.de/sbs/k2.html> bzw. <http://www.absv.de/sbs/k4.html> (letztes Abrufdatum: 19.05.2006)

Bild 1.8: Eine aufgeklappte Braille-Tafel mit Stanzgriffel

von <http://www.anderssehen.at/hilfen/tafel.shtml> (letztes Abrufdatum: 01.05.2006)

Bild 1.9: Die Marburger Bogenmaschine als Beispiel einer Punktschriftmaschine

aus http://brailletec.de/bda_bogen.pdf (Download vom 10.05.2006)

Bild 1.10: Ein Tastkopierer mit erstellten taktilen Diagrammen

von www.bbi.at/menu/skizzen_bilder/nr11klein.jpg (letztes Abrufdatum: 29.04.2006)

Bild 3.4: Die Windows™-Lupe in Aktion

von www.bfw-vheim.de/infk2/Hilfsmittel/bild1/Lupe.jpg (letztes Abrufdatum: 13.05.2006)

Bild 3.5: Die Vergrößerung eines schwierig zu lesenden Textes über ZoomText™

von www.kiki.jeed.or.jp/pro/pic/e110201.gif (letztes Abrufdatum: 02.05.2006)

Bild 5.1: Kalotten- und Stäbchenmodell

von http://www.wissen.swr.de/warum_chemie/eisblumen/themenseiten/t4/images_content/4.jpg (letztes Abrufdatum: 23.05.2006)

Bild 5.3: Das MINIT™-Molekülbaukasten-System

von <http://www.wiley-vch.de/publish/dt/books/bySubjectST00/> ISBN3-527-10010-5 (letztes Abrufdatum: 20.03.2006)

Bild 5.15: Das Periodensystem der Elemente - Eine Herausforderung

von <http://www.pse-online.de/download/pse.pdf> (Download vom 15.03.2006)

Bild 7.1: Jöns Jakob Berzelius (1779 - 1848)

von <http://www.uned.es/094224/images/Berzelius.jpg> (letztes Abrufdatum: 21.04.2006)

Bild 7.2: Friedrich Wöhler (1800 - 1882)

von <http://www.cojeco.cz/attach/ilustrations/3b649b490fb9b.jpg> (letztes Abrufdatum: 24.04.2006)

Bild 8.1: Graphitstruktur

Handreichung Gerstner aus dem Jahr 2002 eingefügt am 22.03.2006

Bild 8.2: Diamantstruktur

von http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Diamond_Cubic-F_lattice_animation.gif (letztes Abrufdatum: 23.03.2006)

Bild 8.3: C60-Fulleren (Buckminster)

von <http://www.ciam.unibo.it/electrochem/images/fullerene%206.gif> (letztes Abrufdatum: 23.03.2006)

Bild 10.1: Grube Anna nach dem schweren Unglück vom 21. Oktober 1930

von <http://www.paranormal.de/hp/hlamprecht/k-19.jpg> (letztes Abrufdatum: 26.03.2006)

Bild 10.2: Nikolaus August Otto (1832 - 1891)

von http://www.young.evn.at/images/biografie/Nikolaus_Otto.jpg (letztes Abrufdatum: 26.05.2006)

Bild 11.5: Die Platonischen Körper

von http://de.wikipedia.org/wiki/Platonischer_Körper (letztes Abrufdatum: 03.05.2006)

Bild 11.8: Die Dualität zwischen Würfel und Oktaeder

von http://de.wikipedia.org/wiki/Platonischer_Körper (letztes Abrufdatum: 03.05.2006)

Bild 11.9: Der stella octangula nach Kepler

von <http://www.uwgb.edu/dutchs/graphic1/polyhedr/compound/2tetra.gif> (letztes Abrufdatum: 02.05.2006)

Bild 11.10: Der Kosmische Becher

von <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/1995/lectures/kepler.gif> (letztes Abrufdatum: 04.04.2006)

Bild 11.11: „Stars“ (1948) von Escher

von <http://www.mathacademy.com/pr/minitext/escher/stars.gif> (letztes Abrufdatum: 13.05.2006)

Bild 11.13: Die Vier-Elemente-Lehre

von http://www.caesar.de/uploads/media/platonische_koerper.jpg (letztes Abrufdatum: 22.05.2006)

Bild 12.1: Die Struktur des Methan-Moleküls

von <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/chemkurs/bilder/methan2.jpg>

bearbeitet am 01.06.2006

Bild 14.1: Amadeo Carlo Avogadro (1776 - 1856)

von <http://perso.wanadoo.fr/ours.courageux/avogadro.jpg> (letztes Abrufdatum: 13.04.2006)

Bild 15.1: Justus von Liebig (1803 - 1873)

von http://photos.aip.org/history/Thumbnails/liebig_justus_a1.jpg (verändert am 26.04.2006)

Bild 17.1: Kapillarbild nach der Runge-Methode

von <http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/chromato/images/runge.jpg> (letztes Abrufdatum: 05.03.2006)

Bild 20.6: Keilstrichschreibweise und Newman-Projektion

von http://www.chen.ethz.ch/course/skript/Konformationsanalyse_files/image005.gif (letztes Abrufdatum: 22.05.2006)

Bild 20.7: Gestaffelte und ekliptische Konformation

von http://www.chen.ethz.ch/course/skript/Konformationsanalyse_files/image007.gif (letztes Abrufdatum: 22.05.2006)

Bild 21.2: Friedrich Wöhler (1800 - 1882)

von <http://www.cojeco.cz/attach/illustrations/3b649b490fb9b.jpg> (letztes Abrufdatum: 24.04.2006)

Bild 21.25: Aufbau des Low-Cost-Gas-Chromatographen AK LCGC-03

von <http://www.kappenberg.com/experiments/gc/pdf/k04c.pdf> (download vom 20.04.2006)

Bild 21.26: Gas-Chromatogramm des Alkan-Gemisches und von Feuerzeuggas

von <http://www.kappenberg.com/experiments/gc/pdf/k04c.pdf> (bearbeitet am 20.04.2006)

Bild 23.1: Louis Braille (1809 - 1852)

von http://www.universoespirita.org.br/spleb/pix/louis_braille.jpg (letztes Abrufdatum 01.06.2006)

b) Eigene Fotos, Grafiken und Tabellen in geordneter Reihenfolge:

Bild 1.3: Stellenwert der Sinneseindrücke nach der *Vision-for-Doing-Theorie*

Bild 1.5: Der abgedunkelte Chemieraum der *Carl-Strehl-Schule*

Bild 1.6: Sechs-Punkt-System der *Braille-Schrift*

Bild 1.7: Punktstellungen des *Braille-Systems*

Bild 1.11: Vergrößerung einer 8-Punkt-Braille-Zeile für den Laptop

Bild 2.1: Der Innenhof der *Carl-Strehl-Schule*

Bild 2.2: Eindrücke aus der *Carl-Strehl-Schule*

Bild 2.3: Hier geht es zur Schulleitung, links ist eine Büste von *Carl Strehl* zu sehen

Bild 2.4: Das Anton-Kerschensteiner-Haus

Bild 2.5: Die 11 AG 03 der Carl-Strehl-Schule im Schuljahr 2005/06

Bild 3.1: Die neuen PC-Arbeitsplätze des Chemieraums 1

Bild 3.2: Die Funktionsleister von MasterEye 3.0 XL™

Bild 3.3: Die selbsterklärende Benutzeroberfläche von *Jaws*™

Bild 3.6: Kamera mit großem Objektiv

Bild 3.7: Eine Webcam als platzsparende Variante

Bild 3.8: Eine mobile Schwenkarmkamera

Bild 3.9: Eine der vielen Formularvorlagen in *LiTeX*

Bild 3.10: *LiTeX* in Aktion

Bild 3.11: Die Zoom-Funktion von *LiTeX*

Bild 4.1: Punktstellungen des *Braille-Systems*

Bild 4.2: Taktile Übertragung von Indizes

Bild 4.3: Eine typhlografische Umsetzung von Benzol

Bild 4.4: Das *Optophon*™

Bild 4.5: Der *ColorTest*™

Bild 5.4: Die *CVK*™-Molekülbox

Bild 5.5: Interpretation von Atom- und Bindungsverhältnissen mit dem *CVK*™-Modell

Bild 5.6: Die Fräsung der Kohlenstoffatome

Tabelle 5.7: Die Längen der einzelnen Bindungsteile

Bild 5.8: Eine Einfachbindung mit überzogenem Plastikschauch

Bild 5.9: Der Querschnitt einer fertig gestellten Einfachbindung

Bild 5.10: Der Querschnitt einer äußeren C-C-Doppelbindung

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Bild 5.12: Ein Methan-Molekül auf zweidimensionaler Basis

Bild 5.13: Einsatz des zweidimensionalen Modells in der *Carl-Strehl-Schule*

Bild 5.14: Die Magnet-Legetafeln der *Carl-Strehl-Schule*

Bild 5.16: Das Element Kohlenstoff im PSE vor und nach dem „Optimierungsprozess“

Bild 5.17: Ein taktiles Periodensystem der Elemente (*Carl-Strehl-Schule*)

Bild 5.18: Optisch maximiertes Element am Beispiel Kohlenstoff

Bild 5.19: Ausschnitt aus dem weiter vereinfachten Periodensystem

Bild 5.20: Ein käuflich zu erwerbendes Klapp-Periodensystem nach *Kohler*

Bild 5.21: Entwurf eines neuen Periodensystems für Blinde und Sehbehinderte

Bild 8.4: Schwarz-weiß-Ausschnitt aus dem Periodensystem für Sehgeschädigte

- Bild 11.3:** Das Umkreismodell
- Bild 11.4:** Dreieck- und Sternmodell
- Bild 11.6:** Anordnung von sechs Flächen um eine Ecke
- Tabelle 11.7:** Tabelle der Platonischen Körper
- Bild 11.12:** Gebastelte Modelle der Platonischen Körper im Kunstunterricht
- Bild 11.14:** Eine konstruierte Tetraedergrundfläche
- Tabelle 12.1:** Einfache n-Alkane
- Bild 13.1:** Die Aufhebung der Polaritäten im Ethan-Molekül
- Bild 14.2:** Abhängigkeitsdiagramme von Druck, Temperatur und Volumen
- Bild 15.2:** Eine *Braille-gerechte* Apparatur
- Bild 19.1:** n-Butan- und iso-Butan-Moleküle
- Bild 19.2:** n-Butan und Methylpropan (iso-Butan)
- Bild 19.3:** n-Hexan und 2-Methyl-pentan
- Bild 19.4:** 3-Methyl-pentan und 2,2-Di-methyl-butan
- Bild 19.5:** 2,3-Di-methyl-butan
- Bild 20.1:** 2,3-Di-methyl-butan
- Bild 20.2:** Bestimmung des Namens von 2,3-Di-methyl-butan
- Bild 20.3:** Keilstrichformel des Ethan-Moleküls
- Bild 20.4:** Zeichnerische Darstellung der dreidimensionalen Struktur
- Bild 20.5:** Modell zur Übertragung eines sp^3 -hybridisierten Kohlenstoff
- Bild 20.8:** Energieunterschiede bei Rotation des Ethan-Moleküls
- Bild 21.1:** Einteilung der Stoffe in die Anorganische und die Organische Gruppe
- Bild 21.3:** Kohlenstoffnachweis in Haushaltszucker
- Bild 21.4:** Aufbauskitze für die Verbrennung eines Industriediamanten
- Bild 21.5:** Einsatz der Verbrennungslanze im Unterricht
- Bild 21.6:** Der Nachweis von Kohlenstoff in Methan
- Bild 21.7:** Einsatz des ColorTest™ im Unterricht der *Carl-Strehl-Schule*
- Bild 21.8:** Nachweis von Wasserstoff im Methan
- Bild 21.9:** Überprüfung des flüssigen Produktes durch Ertasten
- Bild 21.10:** Eine selbstgebaute Explosionskammer
- Bild 21.11:** Das zweidimensionale Molekülbaukasten-System in Erprobung
- Bild 21.12:** Das Methan-Molekül auf zweidimensionaler Basis
- Bild 21.13:** Das Methan-Molekül hergestellt mit dem *CVK™-System*
- Bild 21.14:** Das Umkreismodell
- Bild 21.15:** Das Dreieck- und das Sternmodell
- Bild 21.16:** Ein farbiger Entwurf des Umkreismodells
- Bild 21.17:** Die geometrische Anschauung des Tetraeder-Problems
- Bild 21.18:** Die Aufhebung der Polaritäten im Ethan-Molekül
- Bild 21.19:** Taktile Vorlage der Gasmolwaage zur eigenen Beschriftung

- Bild 21.20: Die Gasmolwaage nach Kinttoff und Wagner**
- Bild 21.21: Das innere Zeigerrad auf der äußeren Drehscheibe**
- Bild 21.22: Das „Stille Eudiometer“**
- Bild 21.23: Das taktile Erfahren der Apparatur**
- Bild 21.27: Ein Taktiles Gas-Chromatogramm**
- Bild 21.28: n-Hexan und 2-Methyl-pentan**
- Bild 21.29: 3-Methyl-pentan und 2,2-Di-methyl-butan**
- Bild 21.30: 2,3-Di-methyl-butan**
- Bild 21.29: 2,3-Di-methyl-butan**
- Bild 21.30: Bestimmung des Namens von 2,3-Di-methyl-butan**