

**Institut für Didaktik der Chemie
der
Justus-Liebig-Universität Gießen**

Chemie und Sport

**Didaktische Aufarbeitung chemischer Inhalte aus dem Sport
für den fachübergreifenden Chemie-Sport-Unterricht**

Inaugural-Dissertation
Zur Erlangung des Doktorgrades
der
Naturwissenschaftlichen Fachbereiche
der
Justus-Liebig-Universität Gießen
Fachgebiet Chemie

vorgelegt
von
Martin Holfeld

Gießen, im März 2005

Dekan des Fachbereichs:
Chemie, Biologie und Geowissenschaften:

Prof. Dr. Jürgen Mayer

Prodekan:

Prof. Dr. Peter R. Schreiner

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. Helmut Gebelein

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Volker Wiskamp

Gießen, den 02. März 2005

(Martin Holfeld)

So eine Arbeit wird nie fertig.

*Man muss sie für fertig erklären, wenn man nach Zeit und Umständen
das Mögliche getan hat.*

Johann Wolfgang von Goethe, „Italienreise“ (1787)

Vorwort

Schneller, höher, weiter ... sensationelle Rekorde machen ohne Zweifel einen großen Teil der Faszination des Sports aus.

Doch die jedem Sportler von Natur aus gegebenen individuellen körperlichen Fähigkeiten und Kräfte haben ihre Grenzen, so dass immer bessere sportliche Leistungen zunehmend unwahrscheinlich werden.

Es sei denn, die Chemie hilft nach.

Bei den Olympischen Spielen in Sydney, 2000, sprang ein junger Mann mit einem Vollkörperanzug ins Wasser und gewann mehrere Goldmedallien. Es soll keineswegs bestritten werden, dass *Ian Thorpe* ein hoch begabter Schnellschwimmer ist. Dennoch darf gefragt werden, ob seine neue, der Haifischhaut nachempfundene Hülle aus Polyurethan ihn nicht noch etwas schneller gemacht hat.

Dass Kunststoffe den Sport revolutionieren, hat Tradition. Bei den Olympischen Spielen in München, 1972, machten Bestleistungen im Stabhochsprung auf die neuen, mit Kohlenstofffasern verstärkten Sprunggeräte aufmerksam. Wie Tischtennis ohne Celluloid[®], ein Produkt, das eigentlich bei der Suche nach einem Elfenbein-Ersatz für Billiardkugeln gefunden wurde, aussähe, ist fraglich. Bespannungen aus Darm für Tennisschläger sind längst passé und durch solche aus Polyamid und anderen Kunststoffen ersetzt. Und der alte „Drahtesel“ ist wohl nur noch im Museum zu finden, denn moderne Fahrräder enthalten anstelle des Eisens leichtere Werkstoffe aus Aluminium oder Kohlenstofffasern.

Ob das „Wunder von Bern“ heute noch geschehen würde, darf – die Leistung der damaligen deutschen Nationalmannschaft in allen Ehren – angezweifelt werden, denn ein modernes Tretoobjekt ist mit Polyurethan beschichtet, nimmt kein Wasser auf und wird deshalb auch bei Regen wie im Finale 1954 nicht schwerer. Mit dem alten Lederball, der klatschnass war, kamen die kraftbetont spielenden deutschen Fußballer offensichtlich besser zurecht als die Techniker aus Ungarn.

Trotz dieser „Einschränkung“ werden die Neuerungen, die Kunststoffe dem Sport beschert haben, in aller Regel positiv gesehen.

Überhaupt nicht gut, sondern kriminell ist es, wenn Sportler chemische Substanzen zum Leistungssteigerung nutzen. Dopingskandale gibt es leider reichlich, und es ist traurig, dass Hochleistungssport heute mit hoch moderner Blut- und Urin-Analytik kontrolliert werden muss.

Sicherlich ist es sinnvoll, dass mittlerweile auch der Biochemie beim Sporttreiben Rechnung getragen wird, indem Flüssigkeits- und Mineralienverluste bei sportlicher Aktivität mit isotonischen Getränken kompensiert werden können.

Doch ist es ein Irrglaube, mit sauerstoffhaltigen Getränken die O₂-Bereitstellung im Körper erhöhen zu können. Derartige Produkte sind – schonend ausgedrückt – ein Gag. Und dass Carnitin als „Fat-Burner“ verkauft wird, ist auch kein Fortschritt der Menschheit, zumal das Verhalten von Body-Buildern, die durch übermäßigen Fleischkonsum Muskeln, aber auch viel Fett aufbauen, welches sie anschließend mit Hilfe des

Carnitins in kurzer Zeit wieder abbauen, mit gesunder Ernährung nicht das Geringste zu tun hat.

Aus den angeführten Beispielen geht hervor, dass Sport und Chemie viel miteinander verbindet. Da Sport und Chemie Schulfächer sind, lohnt es sich, sowohl im Sportunterricht Chemie-Bezüge herzustellen, als auch umgekehrt den Chemieunterricht mit Beispielen aus dem Sport zu bereichern.

Wie dies geschehen kann, dazu möchte die vorliegende Arbeit Anregungen geben.

Inhalt

	Seite
1 Einleitung	9
2 Konzept	11
3 Welche Chemie-Themen interessieren Sportlehrer?	16
4 Chemie und Sport verbindende Unterrichtsthemen	17
4.1 Stoffwechsel beim Sporttreiben	17
4.1.1 Aerobe und anaerobe Energiebereitstellung	17
4.1.2 Milchsäure-Acidose, Blutpuffer und saure/basische Ernährung	21
4.2 Inhaltsstoffe von Sportgetränken	24
4.2.1 Glukose	25
4.2.2 Antioxidantien und Enzyme	25
4.2.3 Mineralien	26
4.2.4 Sauerstoff	26
4.2.5 Coffein	27
4.2.6 Glutamin	29
4.2.7 Carnitin	30
4.2.8 Kreatin.	32
4.3 Doping.	33
4.4 Kältesprays	41
4.5 Kunststoffe im Sport	41
4.5.1 Cellulosenitrat und Tischtennisbälle	42
4.5.2 Tennisbälle	42
4.5.3 Polyurethan und regenfeste Fußballbälle	43
4.5.4 Polyamid und Tennisschläger-Bespannungen	45
4.5.5 Polyethen und Wachs für die Ski-Reparatur bzw. -Beschichtung	44
4.5.6 Verbundfasern für Tennisschläger- und Fahrradrahmen	45
4.5.7 Membrane für atmungsaktive Sportkleidung	48
4.5.8 Schwimmanzüge	49
5 Erfahrungsberichte	49
5.1 Sport- und Chemiekurse in der gymnasialen Oberstufe	50

5.2	Chemie-Arbeitsgemeinschaften	59
5.3	Ferienakademie für hoch begabte Unterstufenschüler	61
5.4	Biochemie-Vorlesung für Studenten	63
6	Zusammenfassung	64
7	Versuchsanleitungen	65
V 1	Zucker-Verbrennung in einer Kaliumchlorat-Schmelze	65
V 2	Hydrolyse von Phosphor(V)-oxid	66
V 3	Quantitative Laktat-Bestimmung mit Teststäbchen	67
V 4	Qualitativer Laktat-Nachweis als Eisenlaktat	68
V 5	Modellversuch zur respiratorischen Kompensation einer metabolischen Acidose	69
V 6	Lösungsverhalten von Harnsäure im basischen bzw. sauren Medium	70
V 7	Zitrone, ein baseüberschüssiges Lebensmittel	71
V 8	Glukose-Nachweise in Sportgetränken	72
V 9	Qualitativer Vitamin C-Nachweis in Sportgetränken	74
V 10	Iodometrische Vitamin C-Bestimmung in Sportgetränken	75
V 11	Vitamin E-Nachweis in Sportgetränken	76
V 12	Nachweise der Vitamine B1 und B2 in Sportgetränken	77
V 13	Natrium-Nachweis in Sportgetränken durch Flammenfärbung	78
V 14	Qualitativer Nachweis von Sauerstoff in Sportgetränken	79
V 15	Iodometrische Sauerstoff-Bestimmung in Sportgetränken	80
V 16	Fotometrische Coffein-Bestimmung in Sportgetränken	82
V 17	Dünnschichtchromatografischer Glutamin-Nachweis	84
V 18	Carnitin-Nachweis in einem Fat-Burner	86
V 19	Kreatin-Nachweis in Sportgetränken	88
V 20	„Doping-Sünder“-Suchspiel	89
V 21	Verdampfungskälte	90
V 22	Nitrocellulose und Celluloid®	91
V 23	Chemie des Fußballs	92
V 24	Herstellung von Polyamid 66 durch Phasengrenzflächenkondensation	94
V 25	Herstellung von Polyamid 66 aus AH-Salz	95
V 26	Reparieren und Wachsen von Skiern	96
V 27	Herstellung von Kohlenstofffasern aus Polyacrylnitrilfasern	97
V 28	Herstellung von Faserverbundmaterialien	100
V 29	Membrane für atmungsaktive Sportkleidung	102

8	Literatur	.103
	Anhang	.107
Anhang 1:	Aus der Dissertation (bisher) hervorgegangene Publikationen	.107
Anhang 2:	Welche Chemie-Themen interessieren Sportlehrer?	.108
Anhang 3:	Schülerbefragung zum Projekt „Ernährung und Sport“	.126
	Danksagung	.135
	Lebenslauf	.136

1 Einleitung

Das Fach Chemie gehört in der Schule zu den unbeliebtesten Fächern, nicht nur, weil es sehr anspruchsvoll ist, sondern auch, weil die Schüler oftmals den Bezug der fachlichen Inhalte zu ihrem täglichen Leben nicht erkennen und weil außerdem in der Regel viel zu wenig experimentiert wird.

Dem entgegen zu wirken, wird in letzter Zeit verstärkt und auf verschiedene Weise versucht, mit positivem Erfolg. Das von *Ralle* et al. entwickelte Konzept „Chemie im Kontext“ [1] ist hier als Beispiel zu nennen (s. Kasten im Kapitel 2). Unterrichtseinheiten wie „Chemie rund um das Auto“ [2] oder „Chemie des Meeres“ [3] stellen dabei spezifische Chemie-Lerninhalte in einen sinnstiftenden Zusammenhang. Das Buch „Chemie rund um die Uhr“ [4] ist eine für Schüler sehr empfehlenswerte Lektüre, durch die ihnen bewusst wird, dass jede Minute ihres Lebens auf irgend eine Art von der Chemie geprägt ist, sei es beim Zähneputzen, beim Telefonieren mit dem Handy, beim Essen und selbst beim Verliebtsein. Schließlich machen immer häufigere Bildungspartnerschaften zwischen Schulen und Chemie-Firmen den jungen Menschen die Bedeutung der Chemie in unserer Gesellschaft deutlich, und Schüler-Labore an Universitäten [5] reihen sich in die vielen lobenswerten Initiativen zur Förderung des Chemieunterrichts nahtlos ein.

Ein weiterer Ansatz, die Bedeutung der Chemie transparenter zu machen und Interesse für das Fach zu wecken, nutzt den Perspektivenwechsel, das heißt, in *anderen* Fächern chemische Inhalte zu thematisieren. Im Biologieunterricht den Zitronensäure-Zyklus, im Physikunterricht elektrochemische Phänomene oder im Erdkunde-Unterricht chemische Rohstoffe zu behandeln, liegt nahe. Weniger oft kommt es hingegen vor, dass im Kunstunterricht die Maler-Palette chemisch unter die Lupe genommen wird (vgl. [6, 7]), dass im Geschichtsunterricht betont wird, dass zeitgleich zur französischen Revolution auch eine chemische Revolution stattgefunden hat und dass Chemiegeschichte gleichzeitig Kulturgeschichte ist [8], dass im Deutschunterricht die Chemie-Bezüge in *Goethes* „Wahlverwandtschaften“ vertieft werden [9, 10] oder dass im Religionsunterricht über die Berufsethik des Chemikers gesprochen und chemisch-technischer Umweltschutz als Beitrag zur Bewahrung der Schöpfung bezeichnet wird [11-13]. Dabei zeigen die Erfahrungen, dass die Schüler gerade in den Fächern, in denen sie *keine* Chemie erwarten, besonders hellhörig für chemische Informationen sind.

Deshalb spricht nichts gegen einen Unterricht, der die Fächer *Chemie und Sport* verbindet. Sport spielt im Leben der Jugendlichen eine große Rolle. Also darf ein von ihnen bevorzugtes Sportgetränk zum Objekt eines kleinen chemisch-analytischen Praktikums oder ein aktueller Dopingfall zum Einstieg in die Steroid-Chemie genutzt werden. Genauso sinnvoll ist es, die Schüler im Sportunterricht vergleichend einen Sprint und einen Dauerlauf durchführen zu lassen und anschließend auf chemische Details des anaeroben und aeroben Stoffwechsels einzugehen oder ihnen zu demonstrieren, dass ihr Tischtennisball brandfördernd ist.

Im Folgenden werden vorwiegend experimentell ausgelegte Unterrichtseinheiten vorgestellt, die in Chemiekursen Themen aus dem Sport aufgreifen bzw. die in Sportkursen chemische Lerninhalte vermitteln.¹

¹ Aus der vorliegenden Arbeit sind die Publikationen [13, 14, 16-25] hervorgegangen (siehe auch Anhang 1)

2 Konzept

Um Themen für einen fächerverbindenden Chemie/Sport-Unterricht zu finden, wurden zunächst die Lehrpläne für die beiden einzelnen Fächer [26, 27] in Hinblick auf mögliche und sinnvolle Querbeziehungen gesichtet.

Der *Lehrplan Sport* des hessischen Kultusministeriums nennt fachübergreifendes und fächerverbindendes Lernen als verbindliche und fakultative Unterrichtsinhalte der Jahrgangsstufen 11-13. Der Theorie-Praxis-Bezug soll das Lernen mit allen Sinnen ermöglichen und ein wissenschaftspropädeutisches Arbeiten begünstigen. Die zunehmende Bedeutung des Faches Sport in Verbindung mit anderen Fachinhalten wird auch in der neuen Verordnung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe deutlich. Dort werden die Möglichkeiten zur Durchführung des neu eingeführten 5. Prüfungsfaches im Abitur beschrieben. Dieses kann entweder eine mündliche Prüfung oder eine besondere Lernleistung sein. Im Lehrplan Sport sind hierzu spezielle Aufgabenstellungen genannt. Besondere Lernleistungen können demnach Projekte sein, die eine klare Aufgabenstellung zu einem fachübergreifenden Gedanken bieten. Als Themenbereiche für Formen des fachübergreifenden Unterrichts werden u. a. „Doping“ und „Moderne Werkstoffe in Sportgeräten und Sportbekleidung“ genannt. Auch der *Lehrplan Chemie* hebt den exemplarischen und ganzheitlichen Unterricht in der gymnasialen Oberstufe hervor und nennt insbes. die Aspekte: „Schülerorientierung“, „aktive Mitbestimmungs- und Gestaltungsmöglichkeit“ sowie „Interdisziplinäres Denken und Handeln“. Es wird darauf hingewiesen, dass fachübergreifende Aspekte von großer Bedeutung und im Unterricht zu berücksichtigen sind. Durch das neu eingeführte 5. Prüfungsfach bietet sich eine Vielzahl von Möglichkeiten, ein Thema „Chemie und Sport“ in den Unterrichtsgang zu integrieren. Beispielsweise könnte ein Schüler im Anschluss an die Unterrichtseinheit „Nahrungsergänzungsmittel“ verschiedene qualitative und quantitative Analysen eines Sportgetränks durchführen und seine Tätigkeiten sowie die Wirkungen und Funktionen der Inhaltstoffe schriftlich darstellen. Dies wäre eine besondere Lernleistung und könnte anstelle einer mündlichen Prüfung als 5. Prüfungsfach gewertet werden.

Des Weiteren wurden Sportlehrer befragt, was sie aus dem Fach Chemie wissen und an ihre Schüler weitergeben möchten (s. Kapitel 3 und Anhang 2).

Die in Frage kommenden Themen werden im Kapitel 4 in Hinblick auf (Fachrelevanz, Gesellschaftsrelevanz, Schülerrelevanz, Wissenschaftsorientierung, weiterführende Literatur, Integrationsmöglichkeiten in den Unterricht) behandelt.

Fachrelevanz bedeutet eine inhaltliche Zentrierung fachlicher Inhalte im Unterricht, die mit der raschen Entwicklung des Faches einhergeht. Grundlegende fachspezifische Themen können an Beispielen aus dem Alltagsleben behandelt werden. Dies weckt zum Einen das Interesse der Schüler (Motivation), zum Anderen können sie auf eigene Erfahrungen zurückgreifen.

Unter *Gesellschaftsrelevanz* werden alle Aspekte, die soziale, ökologische, humanitäre, gesellschaftliche, technische und wirtschaftliche Fragestellungen beinhalten, verstanden. „Die Akzeptanz von Doping“ ist beispielsweise ein gesellschaftsrelevantes Thema.

Schülerrelevanz bedeutet, dass bei der Festlegung fachspezifischer Inhalte die Interessen und Wünsche, Tätigkeiten und Voraussetzungen der Schüler sowie die Bedeutung der Information im Hinblick auf die spätere Lebenssituation des einzelnen Schülers berücksichtigt werden. Das Themengebiet „Chemie und Sport“ besitzt eine hohe Schülerrelevanz, weil die Unterrichtseinheit auf Erfahrungen der Schüler aus dem Sport aufbaut. Vernünftiges und gesundes Sporttreiben sollte für jeden Menschen Inhalt des gesamten Lebens sein, deshalb bietet das Thema auch für Schüler, die kein großes Interesse an den Naturwissenschaften haben, interessante Informationen und kann motivierend wirken.

Wissenschaftsorientierung bedeutet, den Schülern eine Auswahl des aktuellen Wissens der Menschheit bekannt zu machen und sie zu befähigen, dieses als Grundlage ihres Handelns und Weiterlernens zu nutzen. Die jungen Menschen sollen an ausgewählten Beispielen (exemplarisches Prinzip), wenn möglich ausgehend von Alltagserfahrungen, in grundlegende Wissens- und Denkstrukturen sowie Arbeitsweisen eingeführt werden.

Chemische Experimente bilden den Kern jeder Unterrichtseinheit. 90 % der Schüler gehören zu den praktisch-anschaulich Lernenden. Sie bevorzugen das „learning by doing“. Außerdem werden beim gemeinsamen Experimentieren (*Gruppenarbeit*) kommunikative Fähigkeiten sowie Eigenverantwortlichkeit geschult. (Detaillierte und mehrfach praxiserprobte Versuchsanleitungen stehen – auch als Kopiervorlagen gedacht – im Kapitel 7.)

Konkrete Lehrerfahrungen mit fächerverbindenden Chemie/Sport-Themen, nicht nur im Regelunterricht, sondern auch im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft und einer Ferienakademie sowie während einer Biochemie-Vorlesung für Studenten, werden im Kapitel 5 geschildert. Sie mögen interessierten Lesern Anregungen für eigene Lehrveranstaltungen oder Projekte geben.

Die *Projektmethode* ist ein Unterrichtsverfahren, bei dem ganzheitliche und praktisch durchzuführende Arbeitsvorhaben oder unterrichtliche Gesamtthemen nach einem meist von den Schülern selbst entworfenem Plan konkretisiert werden. Ziel ist die Erziehung zur Selbständigkeit und eigener Verantwortung. Da es durch die gegebenen Rahmenbedingungen in der Schule immer wieder Abweichungen von der eigentlichen Projektmethode gibt, wird meist der Begriff *projektorientierter Chemieunterricht* verwendet. Charakteristisch sind die folgenden Merkmale:

- Es muss ein Bezug zu einer im Alltag real existierenden Situation (Problem) gegeben sein.
- Die Arbeit an einer Fragestellung muss bis zur Zielformulierung gemeinsam geplant und in einem arbeitsteiligen Verfahren realisiert werden.
- Die Bewertungskriterien für das Projekt werden von den Teilnehmern selbst vorher festgelegt.
- Die Behandlung fachübergreifender Gesichtspunkte ist unerlässlich.
- Am Ende des Projektes sollte ein „Produkt“ stehen.
- Die Teilnehmer sollten Rechenschaft darüber ablegen, was und weshalb sie etwas tun.

Methodisch und didaktisch ähneln die vorgestellten Unterrichtseinheiten am ehesten dem Konzept „Lernen in sinnstiftenden Kontexten“, das im Folgenden (s. Kasten) erläutert wird².

Lernen in sinnstiftenden Kontexten

1995 hat *Muckenfuß* mit seinem Buch „Lernen in sinnstiftenden Kontexten“ [28] für das Fach Physik gezeigt, wie sich Wissenschaftsorientierung und Handlungsorientierung in einem sinnstiftenden Kontext miteinander verbinden lassen.

Der Arbeitskreis um *Ralle* veröffentlichte 1999 ein didaktisches Konzept zur Kontextorientierung im Chemieunterricht [29]. Die erprobten Kurse orientieren sich nicht in erster Linie an der chemischen Fachsystematik, sondern an forschungsrelevanten und lebensweltlichen Themengebieten. Diese werden in einer Art miteinander vernetzt, dass die notwendigen fachimmanenten Inhalte der Chemie kontextgebunden und strukturiert vermittelt werden.

Auch in anderen Ländern gibt es vergleichbare Bemühungen, grundsätzlich andere Strukturen für den Chemieunterricht zu entwickeln. In Großbritannien wurden mit „*Salter's Chemistry Course*“ [30, 31] und in den USA mit „*Chemistry in Community*“ [32] vergleichbare Konzepte entwickelt.

Allen Kursen ist gemeinsam, dass sie nicht nur zu einer deutlichen Motivationssteigerung bei den Schülern geführt haben, sondern auch, dass anspruchsvolle fächerübergreifende Aspekte geschult werden, die ein vernetztes Denken fördern und so auch einen Beitrag zur Allgemeinbildung liefern.

Das Konzept „Chemie im Kontext“ soll

- ein breites Feld der Schüler erreichen,
- zum Aufbau von rationalem Verständnis im Umgang mit lebensweltlichen Problemsituationen beitragen,
- die Bedeutung der Chemie zur Allgemeinbildung aufzeigen,
- eigenständiges Lernen und den Umgang mit verschiedenen Methoden und Medien schulen,
- Interesse an der Beschäftigung mit chemischen Fragestellungen anregen.

Die besondere fachdidaktische Herausforderung liegt zum Einen in der Gestaltung einer sinnvollen Symbiose zwischen fachsystematischer Notwendigkeit und der gewünschten Konzeptorientierung und zum Anderen im Wechselspiel zwischen konzeptioneller Entwicklung und daraus resultierender Überarbeitung.

Kontextorientierung bedeutet somit, dass eine aktuelle lebensweltbezogene Fragestellung behandelt wird z. B.: „Der Autoantrieb der Zukunft“ [2] statt „Elektrochemie“ oder „Vom Erdöl zum Kaugummi“ [36] statt „Herstellung von Polyisobuten“. (Die Fragestellung beim Thema „Chemie und Sport“ könnte z. B. „Leistungssteigerung durch Nahrungsmittelsubstitution“ oder „Energiebereitstellung im Sport“ heißen.) Die ausgewählten Kontexte müssen

² Einige der hier vorgestellten Unterrichtsmodule passen auch in den *Biologieunterricht*, worauf aber nicht explizit eingegangen wird.

- einen Umwelt- und Lebensbezug [33, 34] und/oder eine Forschungsrelevanz aufweisen,
- zur Vermittlung notwendiger fachsystematischer Inhalte dienen,
- mit schulischen Mitteln umsetzbar sein.

Die einzelnen Themeninhalte sollten miteinander vernetzt und in ein Spiralcurriculum eingebunden sein.

Die chemiedidaktischen Konzepte haben sich über einen langen Zeitraum entwickelt und ständig tiefgreifende qualitative Veränderungen erfahren. *Tausch* erläutert den wohl größten Paradigmenwechsel im vergangenen Jahrhundert, indem er in eine *Christen'sche* und eine *nach Christen'sche* Periode³ einteilt [35]. Dieser qualitative Sprung, so *Tausch*, könnte später mit dem Begriff „Kontext“ verknüpft werden.

Der Duden bezeichnet den Begriff „Kontext“ mit „Zusammenhang oder Inhalt“ (eines Schriftstücks). *Parchmann, Ralle* und *Demuth* [1] haben den Begriff als Unterrichtskonzept „Chemie im Kontext“ weiter entwickelt. Sie fordern, dass im Chemieunterricht komplexe, fachübergreifende Fragestellungen im Bezug zur Lebenswelt dargestellt werden, welche die Sinnhaftigkeit der Beschäftigung mit der Wissenschaftsdisziplin einsichtig machen.

Tausch stellt in seinem Kontext orientierten Aufsatz „Vom Erdöl zum Kaugummi“ [36] fest: „Eine didaktische Integration bedeutet die Vereinigung von Fachsystematik und Kontext. Sie unterscheidet sich von „Chemie im Kontext“ dadurch, dass bei der Vereinigung die Fachsystematik bei der curricularen Gestaltung den Vorrang behält. Dies ist deshalb notwendig, weil Lernende so dazu befähigt werden, selbstständig neue Kontexte zu erschließen.“

Die Unterrichtserfahrung zeigt, dass Jugendliche heute einen häufigen Wechsel von Altersbezügen bzw. von Teilaspekten eines großen Kontextes der langanhaltenden Bearbeitung ein- und desselben Kontextes vorziehen.

Das Konzept „Chemie im Kontext“ ist mittlerweile erweitert worden. Die ursprünglichen Arbeiten von *Parchmann* und Mitarbeitern behandelten Zusammenhänge um die Rolle der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf [3]. *Hoffmann* und *Ralle* [37] haben dort erarbeitete experimentelle und theoretische Grundlagen aufgenommen und sie in einen neuen Kontext eingebunden. Mit „Atmen unter Extrembedingungen“ haben sie einen Kontext erschlossen, in dem biologische und chemische Grundlagen des Körpers thematisiert werden. Wenn biologisch-chemische Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten als Erklärungsmuster dienen können, um Reaktionen des eigenen Körpers zu verstehen, wächst die Aufmerksamkeit der Schüler. Steht die Erlebniswelt der Lernenden im Vordergrund und werden hilfreiche Deutungen für Beobachtungen erarbeitet, die jeder selbst an sich erfahren hat bzw. unter bestimmten Bedingungen an sich selbst erfahren kann, dann wächst auch die Akzeptanz des Chemieunterrichts [38].

Flint hat ein ähnliches Konzept wie „Chemie im Kontext“, allerdings für die Sekundarstufe I, entwickelt [39]. Es heißt „Chemie fürs Leben“.

³ *Hans Rudolf Christen* war Professor für Fachdidaktik der Chemie in der Schweiz. Er hat viele Schulbücher geschrieben, in denen die Fachsystematik den Kontextbezügen und fachübergreifenden Aspekten deutlich übergeordnet ist. In der Schweiz ist die Ausbildung der Chemielehrer anders strukturiert als in Deutschland. Die Chemielehrer werden nur für ein Fach ohne Zweitfach ausgebildet.

Hervorzuheben ist, dass beide Ansätze, „Chemie im Kontext“ und „Chemie fürs Leben“, betonen, dass die geforderte Einbeziehung von Alltag, Umfeld der Schüler, Interessenlage und Aktualität nicht zu der Auffassung führen darf, dass diese Faktoren zur Grundlage und zum Auswahlkriterium des Chemieunterrichts werden. Chemie ist wie kaum ein anderes naturwissenschaftliches Fach dadurch gekennzeichnet, dass zur Behandlung weiter führender Inhalte immer wieder auf Grundlagenkenntnisse zurückgegriffen werden muss und dass einzelne Teilbereiche nicht losgelöst voneinander behandelt werden können. Die Gefahr, dass im Chemieunterricht effekthascherisch für den Schüler interessante Themen behandelt und die inhaltlichen Grundlagen vernachlässigt werden, besteht durchaus [1]. Allerdings können im Chemieunterricht auch Themen behandelt werden ohne dass alle genauen fachlichen Zusammenhänge bekannt sind, so können Themen, wie Kunststoffe, Zucker oder Ester schon in der Klasse 10 exemplarisch behandelt werden. Der Schüler kann so viel über die Eigenschaften und die Zusammensetzung der Stoffe lernen auch ohne die genaue Kenntnis des molekularen Aufbaus zu besitzen.

Es gibt Lerngebiete, wie zum Beispiel das Donator-Akzeptor-Prinzip. Hier ist die Meinung darüber, wie man diese Themen im Unterricht behandeln soll geteilt. Viele Fachdidaktiker und Chemielehrer sind der Meinung, dass sie besser mit den herkömmlichen Unterrichtsmethoden vermittelt werden sollten. In den letzten Jahren gibt es aber auch Bestrebungen diese Lerngebiete mit anderen Methoden zu vermitteln.

3 Welche Chemie-Themen interessieren Sportlehrer?

Eine schriftliche Befragung hessischer Sportlehrer bezüglich ihrer Interessen an Chemie-Themen für ihre Unterrichtsgestaltung sowie Wünschen nach methodischen und fachlichen Informationen ergab Folgendes [24]:

81 Sportlehrer (75 % männlich, 25 % weiblich; 28 % mit dem Zusatzfach Biologie, 22 % mit dem Zusatzfach Chemie; durchschnittliches Dienstalalter über 15 Jahre) antworteten.

Den im Hessischen Lehrplan für die gymnasiale Oberstufe im Fach Sport (vom 3.6.2002) vorgesehenen Theorieanteil von 25 % im Sportunterricht hielten die Lehrer für angemessen. Für neues und didaktisch aufbereitetes Lehrmaterial über die Bedeutung der Chemie im Sport äußerten sich die Lehrer sehr aufgeschlossen.

Lehrer mit allen Fächerkombinationen bekundeten starkes Interesse an den Themen „Energiebereitstellung beim Sporttreiben“ (82 %), „Nahrungsergänzung und Nahrungsmittelsubstitution“ (61 %) sowie „Doping“ (59 %).

79 % der Befragten hielten beispielsweise die Besprechung von „Kreatin“ für sinnvoll; 95 % waren der Meinung, dass Jugendliche über „Fat-Burner“ aufgeklärt werden sollten.

Für durchaus nicht zu anspruchsvoll hielten es 74 % der Lehrer, im Sportunterricht das Thema „Anaerobe Energiegewinnung und Laktat-Bestimmung“ zu behandeln, sofern nicht der biochemische Tiefgang angestrebt werde wie in einem Chemie-Leistungskurs.

Aus den Antworten ging nicht hervor, ob das Thema „Doping“ vorwiegend von seiner ethischen und wirtschaftlichen Dimension her angegangen, oder ob auch die relevanten Stoffe in Hinblick auf ihre Synthese, Analytik und Wirkungsweise diskutiert werden sollten.

Die meisten Sportlehrer meinten, dass den Jugendlichen der Einfluss moderner Kunststoffe auf den Sport bewusst gemacht werden sollte. Vertieftes Interesse an Themen wie „Funktion und Aufbau moderner Sportkleidung sowie anderer High-Tech-Kunststoffe im Sport“ zeigten allerdings nur die Sportlehrer, die gleichzeitig das Fach Chemie unterrichten. Tendenziell waren sie der Meinung, diese Themen bevorzugt von Chemieunterricht aus anzugehen. Mehrheitlich würden sie moderne Sportgeräte und Funktionskleidung aufgrund des Praxis- und Lebensbezugs der Schüler gerne zum Einstieg in das Thema „Makromolekulare und Kunststoffchemie“ nutzen. Einige Sport/Chemie-Lehrer waren hingegen der Meinung, die High-Tech-Produkte für den Sportsektor sollten erst im Anschluss an den klassischen Lehrstoff zur Kunststoffchemie behandelt werden.

Der Fragebogen und eine detaillierte Auswertung der Befragung stehen in einer Online-Ergänzung zu [24] sowie im Anhang 2.

4 Chemie und Sport verbindende Unterrichtsthemen

Der hier beschriebene fächerverbindende Chemie/Sport-Unterricht umfasst im Wesentlichen zwei Schwerpunkte.

Im ersten geht es um *biochemische Fragestellungen* [14-20, 23, 25]: Was passiert beim Sporttreiben im Körper? Wie muss sich ein Sportler gesund ernähren? Wo ist die Grenze zwischen Nahrungsergänzung und Doping? Auch die Frage nach der Wirkungsweise eines Kältesprays gegen Verletzungen passt in diese Kategorie.

Der zweite Themenschwerpunkt ist *neuen Materialien* gewidmet, die Sportgeräte wie Fahrräder, Tennisschläger, Fußbälle, Schwimm- oder Trainingsanzüge immer weiter verbessern [21, 22].

4.1 Stoffwechsel beim Sporttreiben

Woher bekommt ein Sportler die Kraft für einen Sprint, woher für einen Dauerlauf? Wie entsteht ein Muskelkater? Welche Ernährung ist für einen Sportler ratsam? Das sind die Leitfragen in diesem Kapitel [14, 16, 23, 25, 40].

4.1.1 Aerobe und anaerobe Energiebereitstellung

Zur Energiegewinnung verwendet der menschliche Organismus direkt oder indirekt hauptsächlich das Kohlenhydrat Glukose. Dass in diesem Molekül Energie steckt, kann qualitativ sehr eindrucksvoll vorgeführt werden: Man braucht nur eine Mikrospatelspitze des Stoffes in eine Kaliumchlorat-Schmelze zu werfen, worauf er in einem mächtigen Feuer verbrennt (Versuch 1). Im menschlichen Körper findet die Oxidation stufenweise statt (sog. stille Verbrennung), und zwar auf zwei verschiedene Weisen [41]:

- Anaerobe Glykolyse:



- Aerober Glukosestoffwechsel:



Der anaerobe Weg ist schnell, liefert aber nur zwei Äquivalente Adenosintriphosphat. Der aerobe Weg ist viel langsamer, aber in Hinblick auf die ATP-Ausbeute 19mal wirkungsvoller als der anaerobe.

Um ATP als Energielieferant zu verstehen, sind die Zahlenwerte für die freien Enthalpien der stufenweise Hydrolyse des Moleküls hilfreich [42]: Die Reaktion von Adenosintriphosphat mit Wasser zu Adenosindiphosphat und Phosphat liefert $-30,5$ kJ/mol, die von Adenosintriphosphat mit Wasser zu Adenosinmonophosphat und Diphosphat $-32,5$ kJ/mol. Diphosphat hydrolysiert weiter zu zwei Molekülen Phosphat, verbunden mit einer freien Enthalpie von $-33,5$ kJ/mol. Es können also insgesamt zwei sehr energiereiche Phosphorsäureanhydrid-Bindungen konsumiert werden. Die viel weniger exergonische Hydrolyse der ortho-glykosidischen P-O-C-Einheit im Adenosinmonophosphat zu Adenosin und Phosphat (ca. -9 kJ/mol) spielt bei der Energieversorgung der Muskeln praktisch keine Rolle. Wenn man einen Löffel des Säureanhydrids Phosphor(V)-oxid in ein Becherglas mit Wasser gibt, bildet sich unter heftigem Zischen und Erwärmen Phosphorsäure – ein geeignetes Experiment (Versuch 2), um Schülern ergänzend die Energie zu verdeutlichen, die in dem P-O-P-Strukturelement steckt.

Bei Schnellkraftsportarten (Speerwurf, Weitsprung, Sprints etc.) muss die ATP-Bereitstellung schnell geschehen; der ATP-Nachschub erfolgt deshalb fast ausschließlich anaerob. Die dabei auftretende Senkung des pH-Wertes bewirkt, dass der Muskel steifer und weniger leistungsfähig wird. Eine weitere Ursache für den Muskelkater sind kleinste Verletzungen auf der Zellebene der elastischen bindegewebigen Muskelbestandteile [10].

In der Erholungsphase nach einer solchen kurzen, aber anstrengenden physischen Leistung atmet der Athlet noch einige Zeit sehr heftig. Der auf diese Art zusätzlich aufgenommene Sauerstoff wird für die Oxidation anderer Zellbrennstoffe verwendet, wobei ATP gebildet wird. Dieses wiederum wird dazu genutzt, um aus Laktat Glukose (und dann Glykogen, „menschliche Stärke“) zurückzubilden [43].

Mit zunehmendem Ausdauercharakter einer Sportart spielt die anaerobe ATP-Produktion eine geringere und der aeroben Glukosestoffwechsel eine größere Rolle (s. Abbildung 1).

Der Laktat-Wert im Blut beträgt im Ruhezustand ca. 1 mmol/l. Bei einem Mittelstreckenlauf kann er bis zu 20 mmol/l, bei einem Dauerlauf bis zu 6 mmol/l ansteigen [44]. Durch Training kann die aerobe Energieversorgung verbessert werden [45]. Die anaerobe ATP-Produktion verliert dann an Bedeutung, und Muskelkater tritt wegen ausbleibender (oder zumindest stark verminderter) Milchsäurebildung nicht mehr auf.

In der Sportmedizin gilt der Laktat-Wert als ein probates Mittel, um die Leistungsfähigkeit (den Grad der Auslastung) eines Sportlers einschätzen zu können: Eine Laktat-Konzentration von $6-8$ mmol/l am Ende einer sportlichen Belastung weist darauf hin, dass der Sportler nicht ausbelastet war. Eine mittlere Ausbelastung liegt bei einem Laktat-Spiegel von $8-12$ mmol/l [44].

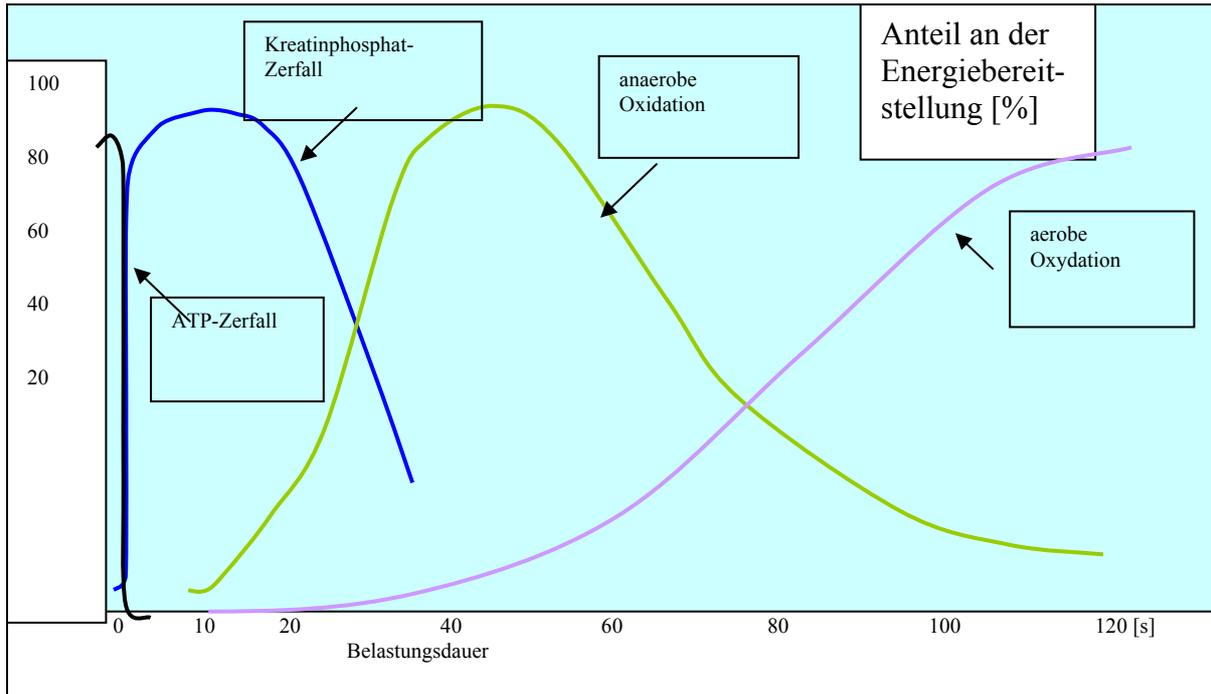


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Energiebereitstellung bei sportlicher Aktivität [46]

Einen Wert zur Beurteilung der aeroben Ausdauer stellt die sog. anaerobe Schwelle dar [47]. Darunter versteht man den Zeitpunkt, an dem der Körper von der aeroben auf die anaerobe Energiebereitstellung umschaltet. (Wenn ein Athlet vor Anstrengung sprichwörtlich keine Luft mehr bekommt, muss sein Körper auf die anaerobe Energieversorgung zurückgreifen.) Er wird ermittelt, indem die körperliche Belastung, z. B. die Laufgeschwindigkeit, gleichmäßig gesteigert und in kurzen Zeitabständen die Laktat-Werte gemessen und gegen die Belastung aufgetragen werden. Die Laktat-Kurve (s. Abbildung 2) zeigt an der anaeroben Schwelle einen starken Anstieg, und zwar nimmt die Laktat-Konzentration ab dem Punkt stärker zu, weil die anaerobe ATP-Produktion einsetzt.

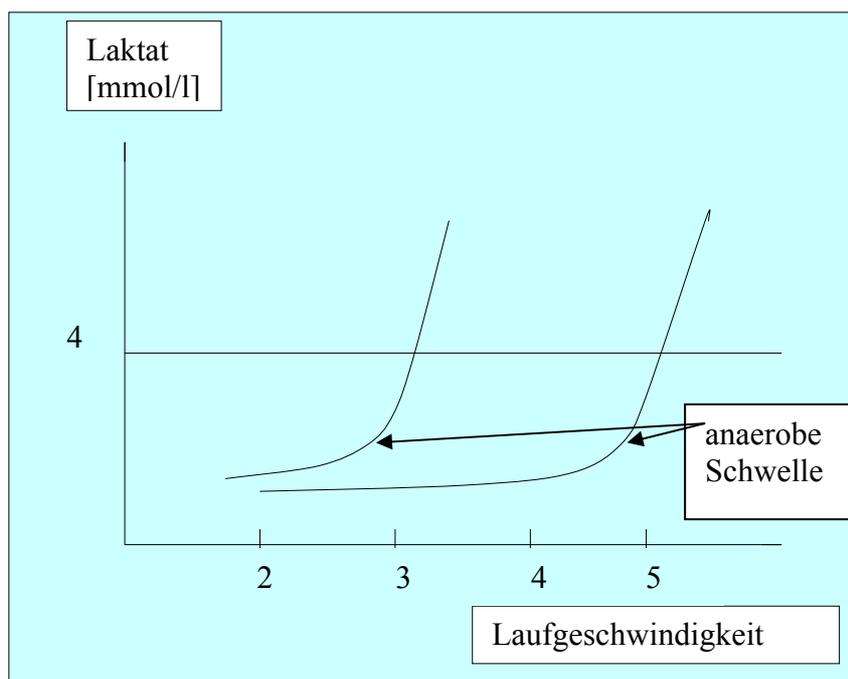


Abb. 2: Einfluss von Ausdauertraining: Kurve A und B sind vom gleichen Athleten aufgenommen. Kurve A am Anfang einer Trainingsperiode, Kurve B nach drei Monaten gezieltem Ausdauertraining: Die anaerobe Schwelle wird nach gezieltem Training erst bei höherer Laufgeschwindigkeit überschritten [47].

Eine Leistungsdiagnose durch Bestimmung der anaeroben Schwelle wäre im Sportunterricht zu aufwendig gewesen. Es empfiehlt sich vielmehr, pro Schüler nur zwei Laktat-Messungen durchzuführen, die erste vor und die zweite nach einer körperlichen Belastung (Versuch 3). Für die Jugendlichen ist es sehr beeindruckend, im *eigenen Körper* den Anstieg der Laktat-Menge festzustellen und damit den biochemischen Vorgang der anaeroben Energieversorgung bewusst zu *erleben*. (Bei einem 100-Meter-Sprinter beispielsweise stieg der Laktat-Wert von 1,2 auf 18,1 bei einer 100-Meter-Läuferin von 0,8 auf 15,8 mmol/l.)

Die Tests können mit einem Laktat-Messgerät, das in der Apotheke ausgeliehen werden kann, mit Laktat-Teststäbchen und Lanzetten durchgeführt werden. Die Messung verläuft ähnlich wie die des Blutzuckers von Diabetikern: Ein Tropfen Blut wird auf ein Messstäbchen getropft und dieses anschließend in das Messgerät geschoben. Nach einer Minute zeigt das Gerät den Laktat-Wert in mmol/l an.

Die Durchführung des Tests darf nur in Gegenwart eines Arztes, z. B. des Schularztes, erfolgen und erfordert das schriftliche Einverständnis der Erziehungsberechtigten bzw. der volljährigen Schüler. Es ist ratsam, den Schülern das Messgerät und die Lanzetten zu Beginn der Unterrichtsstunde vorzuführen, um Ängste vor der Blutentnahme und einer Infektion abzubauen. Die Lanzette ist so konstruiert, dass nach jedem Stich eine neue Nadel eingesetzt werden muss. Das Wechseln der Nadel ist unproblematisch, weil sie vor und nach der Funktion von einem Plastikmantel umgeben ist, so dass man sich nicht ungewollt stechen kann.

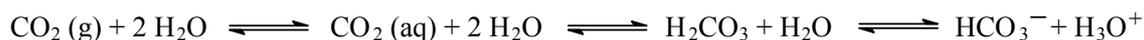
Um der Laktat-Messung etwas von ihrem Black-Box-Charakter zu nehmen, sollte den Schülern erklärt werden, dass das Laktat im Blut mit den Reagenzien auf dem Teststreifen einen Farbstoff bildet, dessen Farbintensität, die beim Durchleuchten des Streifens im Gerät gemessen wird, mit der Laktat-Menge korreliert (*Lambert-*

Beersches Gesetz). Auf genauere analytisch-chemischen Zusammenhänge muss nicht unbedingt eingegangen werden. Es reicht, dass die Schüler Respekt vor der Leistungsfähigkeit der modernen chemischen Diagnostik bekommen und auch etwas Bewunderung dafür empfinden.

Ergänzend können die Schüler im Reagenzglas den qualitativen Laktat-Nachweis als zeisiggrünes Eisenlaktat erproben [48] (Versuch 4).

4.1.2 Milchsäure-Acidose, Blutpuffer und saure/basische Ernährung

Die beim anaeroben Stoffwechsel gebildete Milchsäure (s. Kapitel 4.1.1) kann eine pH-Wert-Senkung des Blutes bewirken, bei starker körperlicher Anstrengung sogar bis unter 6,9 (metabolische Acidose). (Der Soll-pH-Wert des Blutes wird meist mit 7,4 angegeben; Schwankungen zwischen 7,38 und 7,42 gelten als unbedenklich [49].) Damit eine pH-Änderung nicht lebensbedrohlich wird, enthält das Blut Puffer, u. a. das System Kohlensäure/Hydrogencarbonat, das den Schülern aus dem Mittelstufenunterricht bekannt sein sollte (vgl. [50]).



Die Wasserstoffionen der Milchsäure werden zunächst durch die Pufferbase (Hydrogencarbonat) abgefangen. Dabei sinkt deren Konzentration, während die der korrespondierenden Puffersäure (Kohlensäure) im venösen Blut steigt. Nach der *Hasselbalch-Henderson-Gleichung*

$$\text{pH} = 6,1 + \log(\text{HCO}_3^- \text{-Konzentration} : \text{CO}_2 \text{-Partialdruck})$$

müsste dann der pH-Wert sinken. Um dies zu vermeiden, reagiert der menschliche Körper mit einer Steigerung des Atemzeitvolumens. Der Sprinter „bekommt kaum Luft“, so dass vermehrt Kohlenstoffdioxid über die Lunge abtransportiert und deshalb dem chemischen Gleichgewicht entzogen wird, bis das *ursprüngliche Verhältnis* von Pufferbase und -säure wieder hergestellt ist (respiratorische Kompensation).

Diese Zusammenhänge lassen sich in einem Modellversuch (Versuch 5) nachvollziehen [23]: Ein Modell-Blutpuffer wird hergestellt, indem eine Natriumhydrogencarbonat-Lösung mit Salzsäure auf pH 7,4 eingestellt wird. Zur Modellierung einer metabolischen Acidose wird dieser Pufferlösung Milchsäure zugesetzt, worauf sich der pH-Wert etwas ins Saure verschiebt (7,2). Zu Modellierung der respiratorischen Kompensation der Acidose wird kräftig gerührt, so dass Kohlenstoff(IV)-oxid entweicht und der pH-Wert wieder seinen ursprünglichen Wert annimmt.

Eigentlich wäre es logisch, dem Organismus den pH-Ausgleich durch den Verzehr überwiegend basenüberschüssiger Nahrungsmittel (s. Tabelle 1) zu erleichtern. Doch direkte Einflüsse der Nahrung auf den pH-Wert des Blutes konnten bislang nicht nachgewiesen werden. Basenüberschüssige Lebensmittel wirken sich bei regelmäßigem Genuss dennoch positiv auf die Pufferwirkung des Blutes aus, weil sie die Pufferkapazität erhöhen.

Tabelle 1: Säure- und basenüberschüssige Nahrungsmittel [51] (Definition: Jedes Nahrungsmittel enthält eine bestimmte Menge an Säure- und Basenresten, die im Körper eine bestimmte Menge Salz bilden. Bleiben danach Säuren übrig, spricht man von säureüberschüssiger Nahrung, bleiben Basen übrig, so handelt es sich um basenüberschüssige Nahrung.)

Nahrungsmittel Potentielle Renale Säurebelastung (in mEq/100g)

Säureüberschüssig:

mageres Schweinefleisch	2,9
Walnüsse	6,8
Weißbrot	3,7
Weizenmehl	6,9
Eigelb	23,4
Quark	11,1

Basenüberschüssig:

Kartoffeln	– 4,0
Sellerie	– 5,2
Spinat	– 14,0
Radieschen	– 3,7
Blattsalate	– 2,5
Apfelsinen	– 2,7
Ananas	– 2,7
Zitronen	– 2,5

Durch die Einnahme von hydrogencarbonathaltigen Basenpulvern kann der pH-Wert des Blutes kurzzeitig erhöht und die entstandene Milchsäure abgefangen werden. Dann ist auch die Regenerationsphase nach dem Sporttreiben kürzer.

Fleisch ist als Eisen- und Eiweißlieferant ernährungsphysiologisch wertvoll. Es ist aber im Vergleich zu vielen anderen Lebensmitteln auch besonders reich an Purinderivaten (s. Abbildung 3), die vor allem als Ribo- und Desoxiribonukleotide oder Adenosinphosphate vorliegen.

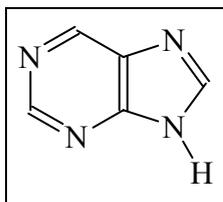


Abb. 3: Grundgerüst der Purine

Im menschlichen Körper werden die über die Nahrung aufgenommenen Purine überwiegend zu Harnsäure verstoffwechselt. Unter Beteiligung mehrerer Enzyme wird beispielsweise Adenosinmonophosphat zuerst zu Inosinmonophosphat hydrolysiert, von welchem dann nacheinander Phosphat und Zucker abgespalten werden. An das resultierende Hypoxanthin wird Wasser addiert und das dabei gebildete Xanthin abschließend zur Harnsäure oxidiert (s. Abbildung 4) [52].

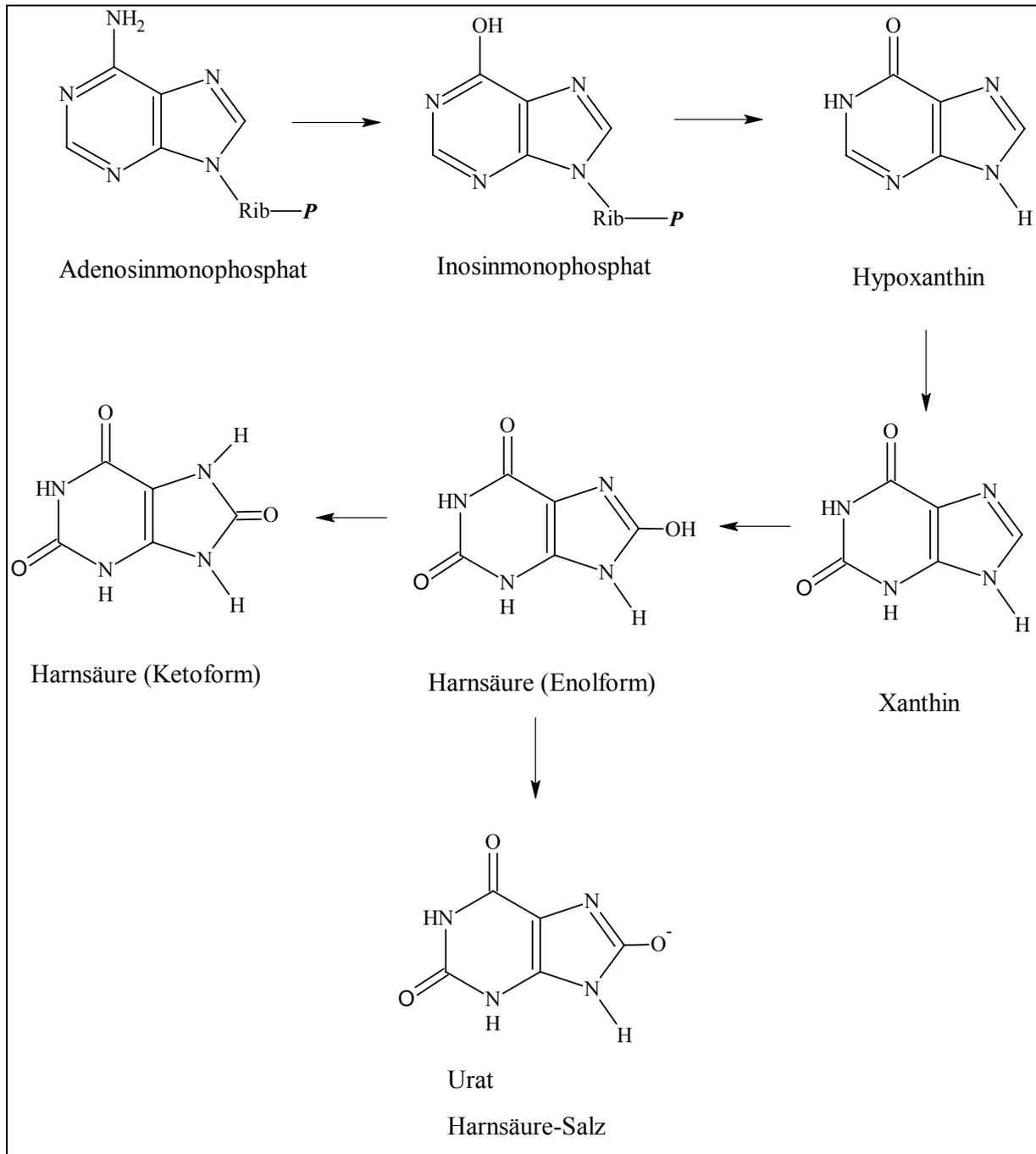


Abb. 4: Purin-Abbau

Aufgrund der Harnsäure-Bildung beim Stoffwechsel zählt Fleisch zu den säureüberschüssigen Lebensmitteln (s. Tabelle 1). Die Harnsäure wird über den Urin ausgeschieden. Sie ist allerdings nur mäßig wasserlöslich, so dass eine Kristallisation einsetzen kann, vor allem, wenn die Körperflüssigkeiten krankheits- oder ernährungsbedingt zu sauer sind. In der Niere können sich dann „Steine“ bilden. Besonders schmerzhaft ist die Ablagerung von Harnsäure in den Gelenken (Gicht). Eine fleischarme und basenüberschüssige Ernährung kann derartigen gesundheitlichen Problemen vorbeugen. In einem Versuch können Schüler das Lösungsverhalten von Harnsäure bei verschiedenen pH-Werten vergleichen (Versuch 6): In Natronlauge ist der Stoff unter Salzbildung gut löslich; bei anschließender Zugabe überschüssiger Salzsäure wird das Urat

protoniert, und die schlecht wasserlösliche Harnsäure fällt aus. (Der Versuch ähnelt sehr dem Experiment „Lösen von Benzoesäure in Natronlauge zu Natriumbenzoat/Fällen von Benzoesäure durch Ansäuern der Benzoat-Lösung mit Salzsäure“, der zum Grundcurriculum des Oberstufenunterrichts gehört.)

Viele pflanzliche Nahrungsmittel, wie Spinat und Kartoffeln, aber auch Zitrusfrüchte, wie Apfelsinen und Zitronen zählen zu den baseüberschüssigen Nahrungsmitteln. Dies ist für den Schüler oft nicht sofort nachvollziehbar, zumal er ja die Zitronensäure aus dem Unterricht kennt. In einem Versuch (Versuch 7) kann die Zitrone als baseüberschüssiges Nahrungsmittel nachgewiesen werden. Die Zitronensäure ist nur aus Kohlenstoff-, Sauerstoff- und Wasserstoffatomen aufgebaut, die zu Kohlendioxid und Wasser umgesetzt werden. Säureüberschüssige Nahrungsmittel enthalten oft Stickstoff-, Phosphor und Schwefelatome, die zu Permanentsäuren umgesetzt werden.

4.2 Inhaltstoffe von Sportgetränken



Foto 1: Verschiedene Sportdrinks und Nahrungsergänzungsmittel

Welche Funktionen haben die verschiedenen Inhaltstoffe von Sportgetränken, die sich gerade bei Jugendlichen zunehmender Beliebtheit erfreuen? Wie lassen sie sich qualitativ und quantitativ nachweisen? Die Analytische Chemie dominiert dieses Kapitel [14, 15, 18, 19].

4.2.1 Glukose

Sportgetränke schmecken meistens süß – ein qualitativer Hinweis auf das Vorliegen von Zucker. Wer einen konventionellen Nachweis des wichtigsten Energielieferanten Glukose im Reagenzglas bevorzugt, sei auf die *Fehling-* oder Tollens-Probe verwiesen (Versuch 8).

4.2.2 Antioxidantien und Enzyme

Bei sportlicher Aktivität ist der Stoffwechsel beschleunigt. Durch den erhöhten Verbrauch an Sauerstoff werden auch größere Mengen an Radikalen gebildet, die durch Kettenreaktionen Schäden an den Zellwänden hervorrufen können. Um dem vorzubeugen, ist eine erhöhte Aufnahmen von Antioxidantien (z. B. die Vitamine C und E) sowie des den Kohlenhydrat-Stoffwechsel als Coenzym unterstützenden Vitamins B1 sinnvoll. Diese Substanzen sind in zahlreichen Sportgetränken enthalten und können nachgewiesen werden (Abbildung 5; Versuche 9-12).

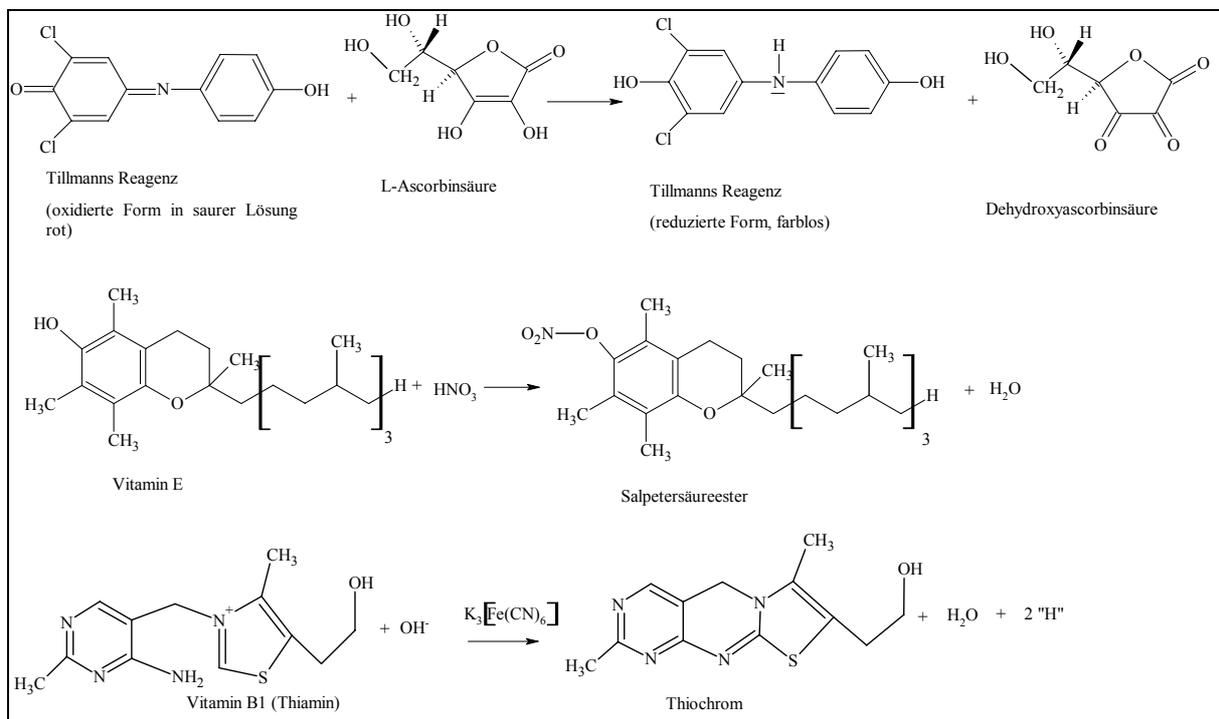


Abb. 5: Nachweis von Vitamin C (oben) durch Entfärbung von Tillmanns-Reagenz bzw. von Vitamin E (Mitte) durch Bildung eines rot gefärbten Salpetersäureesters bzw. von Vitamin B1 (unten) durch Oxidation mittels Kaliumhexacyanoferrat-(III) zu einem Fluoreszenz-Farbstoff

Eine Substitution⁴ antioxidativer Vitamine ist besonders bei Sportlern ratsam, die ein Höhenttraining durchführen. In größeren Höhen sind vermehrt Sauerstoffradikale in der Luft vorhanden, dementsprechend werden beim Training auch mehr freie Radikale aufgenommen. Auch älteren Sportlern wird zur Einnahme von Vitamin C- und E-Präparaten geraten, weil mit dem Alter die Aktivität antioxidativer Enzyme im Körper abnimmt und sich demzufolge oxidativer Stress schwerer auswirkt.

Sportmediziner befürworten die Supplementierung⁵ von Vitamin E, weil die Regenerationszeit des Körpers im Training abnimmt und so die Trainingsintensität gesteigert werden kann.

4.2.3 Mineralien

Sportliche Aktivität ist mit Schwitzen und damit auch mit einem gewissen Verlust an Mineralien verbunden. Diese können dem Körper durch isotonische Getränke wieder gegeben werden.

Das Sportgetränk Isostar[®] beispielsweise enthält 0,70 g Na/l, 0,12 g Mg/l und 0,32 g Ca/l. Durch Flammenfärbung kann insbesondere das Natrium nachgewiesen werden (Versuch 13).

4.2.4 Sauerstoff

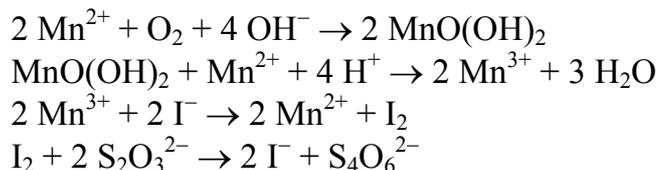
Da beim Sport-Treiben Energie verbraucht wird, muss mehr Nahrung verbrannt und konsequenterweise vermehrt Sauerstoff aufgenommen werden. Die Atmung wird intensiviert. Das Trinken von Sauerstoff-gesättigtem Wasser ist kaum effektiv, denn die Gasmenge, die im Magen/Darm-Trakt resorbiert wird, ist minimal gegenüber der Menge Sauerstoff, welche die Lungen aufnehmen. Sauerstoffhaltige Getränke sind lediglich ein Werbegag, was den Schülern gesagt werden muss.

Trotzdem spricht nichts dagegen, den Sauerstoff in einem Sportgetränk qualitativ (Glimmspanprobe, Versuch 14) und quantitativ (Versuch 15) zu bestimmen. Die iodometrische Methode nach *Winkler* beruht auf einer Folge von Redoxreaktionen: Bei einem Zusatz von Mangan(II)-chlorid und Natronlauge oxidiert der gelöste Sauerstoff im alkalischen Medium das zweiwertige Mangan zum vierwertigen. Der ausgefallene Braunstein reagiert beim Ansäuern mit den überschüssigen Mangan(II)-Ionen zu Mangan(III)-Ionen. Diese oxidieren Iodid zu Iod. Die entstandene Iod-Menge korrespon-

⁴ Nahrungsmittelsubstitution bedeutet, dass Bestandteile der Nahrung, die für den Energie- und Baustoffwechsel notwendig sind und nicht vom Körper selbst synthetisiert werden können, über die Nahrung aufgenommen werden.

⁵ Bei der Nahrungsmittelsupplementierung wird bewusst eine Überkonzentration eines Stoffes im Körper aufgebaut, um die Leistungsfähigkeit zu steigern. Ist das nicht schon Doping (vgl. Kapitel 4.3)?

diert mit der ursprünglich im Wasser gelösten Sauerstoffmenge und kann mit einer Natriumthiosulfat-Maßlösung titrimetrisch ermittelt werden.



4.2.5 Coffein

In manchen Sportgetränken ist der „Muntermacher“ (Stimulanz) Coffein (Abbildung 6) enthalten. Wo ist die Grenze zum Doping? Eine spannende Frage, über die mit jungen Menschen offen gesprochen werden sollte (vgl. Kapitel 4.3).

Coffein ist ein Xanthinderivat (1,3,7-Trimethylxanthin), das in vielen pflanzlichen Produkten oft zusammen mit Theophyllin und Theobromin (1,3 bzw. 3,7-Dimethylxanthin) vorkommt.

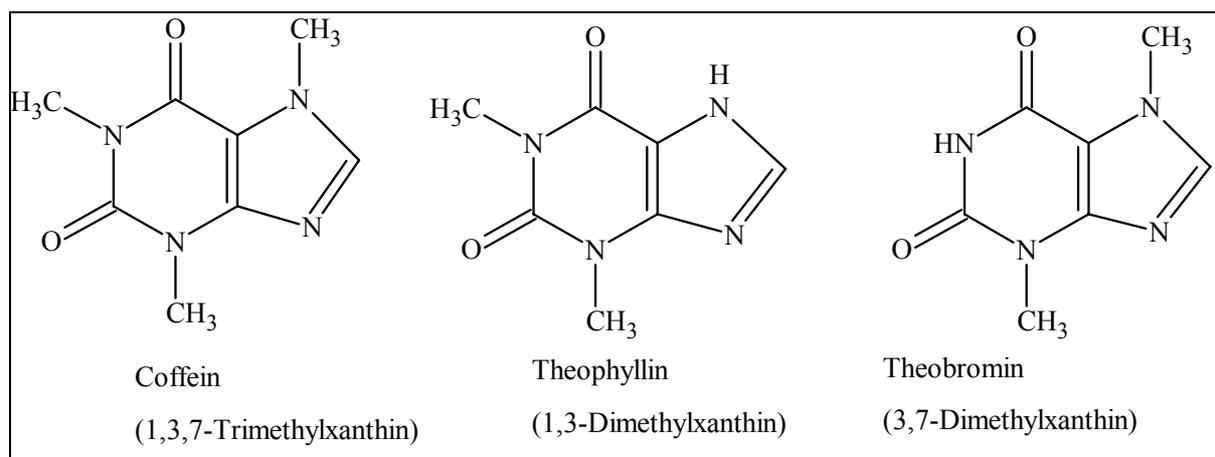


Abb. 6: Die Xanthinderivate: Coffein, Theophyllin und Theobromin

Es ist in Kaffeebohnen, Teeblättern und Kakaobohnen enthalten, je nach Zubereitung sind in einer Tasse Kaffee 50 bis 150mg und in einer Tasse Tee 50-100 mg. Um eventuelle Dopingprobleme zu vermeiden, wurden bei einer Schwimmweltmeisterschaft in Japan europäische Athleten darauf hingewiesen, nur geringe Mengen an grünem Tee zu trinken. Die Wirkung der Getränke ist vom Gehalt des jeweiligen Xanthins und von den Begleitstoffen abhängig. So wird z. B. Coffein aus kohlenensäurehaltigen Getränken, wie den Energydrinks, schneller und aus gerbsäurehaltigen Tees langsamer resorbiert. Die verschiedenen Xanthinderivate haben auf eine Reihe von Organen im Prinzip den gleichen Effekt, aber mit unterschiedlichen Auswirkungen.

Coffein wirkt am stärksten auf das Gehirn und die Skelettmuskulatur, weshalb es häufig in den Energydrinks enthalten ist.

Theophyllin, das im Tee vorkommt, wirkt besonders stark auf das Herz und die Koronargefäße.

Die Wirkungen des Theobromins, das in Kakaobohnen vorkommt, sind im Vergleich zu den beiden anderen Xanthinderivaten eher gering.

Für den Sport ist die Wirkung des Coffeins auf die Skelettmuskulatur von besonderer Bedeutung. Der sogenannte Calcium-Schalter bildet die Verbindung der Nervenzellen mit den kontraktilen Filamenten der Muskulatur. Der von der Nervenzelle kommende Impuls bewirkt eine sofortige Freisetzung der Ca^{2+} -Ionen aus dem sarkoplasmatischen Retikulum. Sie wandern dann über spezielle Kanäle, den transversal Tubuli, zu den kontraktilen Filamenten und bewirken dort die mechanische Spannungsentwicklung im Sarkomer.

In der Medizin wird die Weiterleitung des Membranpotentials als elektromechanische Kopplung bezeichnet.

Zur quantitativen Bestimmung von Coffein in Energy-Drinks eignet sich die Fotometrie. Dabei wird die Eigenschaft genutzt, dass Coffein in wässriger, saurerer Lösung mit Iod/Kaliumiodid schwerlösliches, gelb-braunes Coffeinperiodid, $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_4\cdot\text{HI}\cdot\text{I}_4$, bildet, welches in Methanol allerdings sehr gut löslich ist. Die Extinktion der methanolischen Lösung bei 480 nm wird gemessen und kann mit Hilfe einer Eichgeraden einer Konzentration zugeordnet werden [19] (Versuch 16).

4.2.6 Glutamin

Glutamin (Abbildung 7) ist die für den Muskelaufbau wichtigste Aminosäure und deshalb in zahlreichen Fitness-Getränken enthalten.



Foto 2: Glutaminhaltiges Bodybuilder-Produkt

Sie kann dünn-schicht-chromatografisch nachgewiesen werden (Versuch 17).

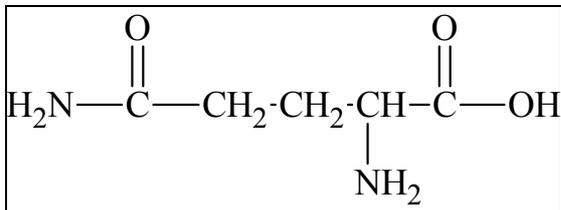


Abb. 7: Glutamin

Glutamin spielt außerdem bei der Proteinspeicherung und -synthese bzw. dem Proteinabbau eine zentrale Rolle. Schließlich dient die Aminosäure auch als Brennstoff in den Zellen des Immunsystems. Glutamin ist keine essentielle Aminosäure, d. h., der Körper kann sie auch selbst synthetisieren. Einige Studien zeigen, dass bei Übertraining der Glutaminspiegel im Muskel stark fällt.

4.2.7 Carnitin

Carnitin ist ein Inhaltsstoff einiger Sportnahrungsergänzungsmittel, insbes. der sog. Fat-Burner. Viele Schüler kennen diese aus dem Fitnessstudio oder aus Sportzeitschriften und möchten die Funktion des Carnitins im menschlichen Körper und beim Body-Building gerne kennen lernen [17].

Eine Form der Energiegewinnung im menschlichen Körper ist die Verbrennung von Fettsäuren. Diese werden zunächst durch eine Bindung an das Coenzym A aktiviert. Coenzym A, meistens einfach als CoA abgekürzt, enthält eine Thiol-Gruppe und wird deshalb manchmal auch exakter als CoASH abgekürzt. Über den Schwefel kann die Acylgruppe einer Fettsäure kovalent (Thioester-Bildung) gebunden werden. Der nun reaktivere Fettsäure-Thioester wird schrittweise zu Acetyl-Gruppen abgebaut, die im Zitronensäurezyklus und in der Atmungskette weiter umgesetzt werden.⁶

Die Biochemie des Fettsäure-Stoffwechsels wird dadurch komplizierter, dass die Bildung der Fettsäure-Coenzym A-Verbindungen außerhalb und die folgende Oxidation innerhalb der Mitochondrien erfolgt, die Verbindungen selbst aber die innere Mitochondrien-Membran nicht durchdringen können. Das Problem wird mit Hilfe des Carnitins gelöst. Dieses geht außerhalb der Mitochondrien eine Umesterungsreaktion mit einer Fettsäure-Coenzym A-Verbindung ein, die durch die Carnitin-Palmitoyl-Transferase I (CPT I) katalysiert wird. Das resultierende Acyl-Carnitin kann die Mitochondrien-Membran passieren. Im Inneren der Mitochondrien katalysiert die Carnitin-Palmitoyl-Transferase II (CPT II) die Rückreaktion, wobei die ursprüngliche Fettsäure-Coenzym A-Verbindung und das Carnitin recycelt werden. Das Carnitin kehrt durch die Mitochondrien-Membran ins Cytosol zurück, wo es für einen neuen Transport-Zyklus zur Verfügung steht (s. Abbildung 8).

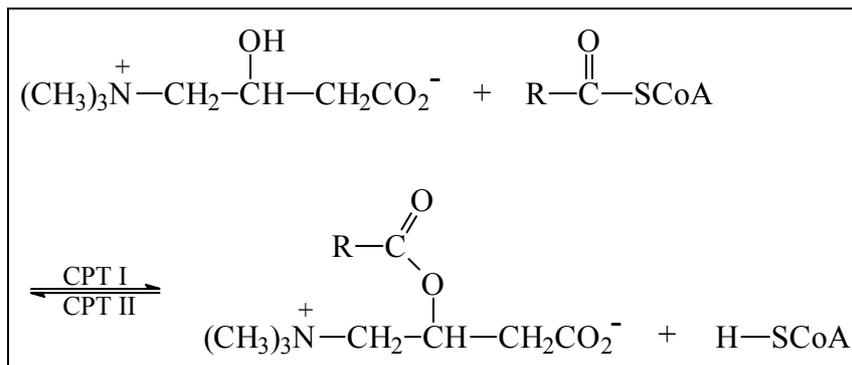


Abb. 8: Carnitin als Transport-Molekül: Hinreaktion außerhalb, Rückreaktion innerhalb der Mitochondrien (R = Fettsäurerest; HSCoA = Coenzym A)

Im *Body-Building-Sport* unterscheidet man verschiedene Phasen, in denen die Muskulatur geformt wird. In der Aufbauphase trainiert der Bodybuilder mit relativ hohen Gewichten und nimmt große Mengen an Proteinen und Eiweiß-Hydrolysaten zu sich.

⁶ Für Details sei auf Lehrbücher der Biochemie verwiesen.

Obwohl der Muskelzuwachs im Vordergrund steht, setzt der Sportler viel Fett an, weil er Nahrung im großen Überschuss konsumiert. Man sieht, dass seine Muskeln von einer Fettschicht überzogen sind. Vor einem Wettkampf muss der Body-BUILDER diese wieder loswerden, um die Muskulatur deutlich sichtbar zu machen. Er trainiert deshalb mit geringeren Gewichten und zahlreichen Wiederholungen. Viele Body-BUILDER haben dennoch Schwierigkeiten, das Fett über ihren Muskeln abzubauen. Sie verwenden daher spezielle Präparate, sog. Fat-Burner, die carnitinhaltig sind und den Fettstoffwechsel anregen.



Foto 3: Ein Bodybuilder beim Posing

Den Schülern sollte deutlich gesagt werden, dass die Reihenfolge, erst Muskeln und Fett aufzubauen und das Fett anschließend mit Hilfe eines Fat-Burners wieder abzubauen, mit einer gesunden Lebensweise nichts zu tun hat. Der Organismus wird unnötig belastet. Viel gesünder ist es, das Krafttraining mit Ausdauereinheiten zu kombinieren. So wird auch Fett abgebaut und die Muskeln definiert, gleichzeitig wird die Durchblutung verbessert. Allerdings kann auf diese Weise kein so schneller Muskelzuwachs wie mit der Bodybuildermethode erzielt werden⁷.

Ein qualitativer Nachweis von Carnitin gelingt mit Reinecke-Salz (s. Abbildung 9; Versuch 18).

⁷ Carnitin ist aber auch ein positiver Wirkstoff, nämlich in *Herzmedikamenten*. Die meisten Muskelzellen gewinnen ihre Energie bevorzugt durch die Oxidation von Kohlenhydraten. Erst wenn die Glykogen-Speicher aufgebraucht sind, schalten die Muskelzellen auf die Verbrennung von Fettsäuren um. Die Herzmuskelzellen decken ihren Energiebedarf allerdings zu ca. 70 % durch die Oxidation freier Fettsäuren ab. Nur bei einem ausreichenden Carnitin-Angebot, das bei einem gesunden Menschen durch normale Nahrung gewährleistet ist, können die Fettsäuren zur Energiegewinnung in die Mitochondrien der Herzmuskeln gelangen und gleichzeitig die toxischen, angehäuften Fettsäuren aus den Zellen geschleust werden. Krankheitsbedingter Carnitin-Mangel führt u. a. zu Herzrhythmusstörungen und kann durch carnitinhaltige Medikamente therapiert werden.

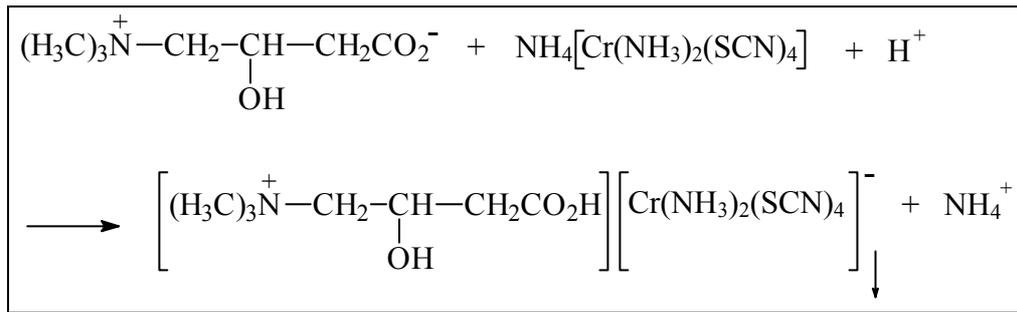


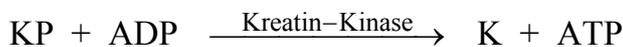
Abb. 9: Nachweis von Carnitin als schwerlösliches Reineckat

4.2.8 Kreatin

Adenosintriphosphat (ATP) ist der unmittelbare Energielieferant für die Muskelkontraktion, wenn es zu Adenosindiphosphat (ADP) und Phosphat (P) hydrolysiert wird (vgl. Kapitel 4.1.1):



Der Körper hat allerdings nur wenig ATP gespeichert. Der Vorrat würde bei sportlicher Belastung nur wenige Sekunden ausreichen. Deshalb muss immer wieder ATP nachgebildet werden. Dies geschieht, indem eine andere energiereiche Verbindung, das Kreatinphosphat (KP), seinen Phosphatrest mit Hilfe des Enzyms Kreatin-Kinase auf ADP überträgt:



(Während einer Erholungsphase wird Kreatinphosphat auf Kosten von ATP resynthetisiert.) Doch auch das Kreatinphosphat ist nur in geringen Mengen im Körper vorhanden und kann deshalb ebenfalls nur einige Sekunden ATP nachliefern. Für sportliche Belastungen, die länger dauern, muss der Körper die notwendige Energie durch Verbrennen der Nahrung erzeugen. Durch deren schrittweise Zerlegung wird Energie frei, die genutzt wird, um aus dem energiearmen ADP wieder energiereiches ATP herzustellen.

Kreatin ist in letzter Zeit als „legales Dopingmittel“ bekannt geworden (vgl. Kapitel 4.3). Presseberichte dazu können als Anlass dienen, einen qualitativen Nachweis von Kreatin in einem Sportgetränk durchzuführen. (s. Abbildung 10; Versuch 18).

Dazu wird das Getränk mit wenigen Tropfen verdünnter Salzsäure versetzt. Anschließend werden fünf Milliliter verdünnter Pikrinsäure zugegeben und solange Natronlauge eingetropft, bis die Lösung leicht alkalisch ist. Nach einigen Minuten Erwärmen im Wasserbad wird die Lösung tief orange. Die Orangefärbung wird von einem Pikrinsäure-Kreatininkomplex hervorgerufen (s. Abbildung 10; Versuch 19).

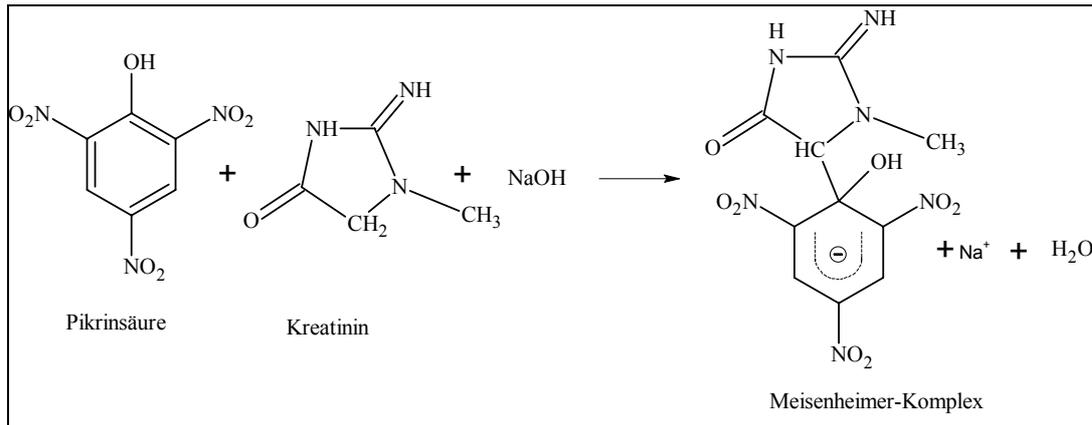


Abb. 10: Kreatin-Nachweis

4.3 Doping

Viele nationale und internationale Verbände entwickelten Doping-Definitionen, die einen Missbrauch verhindern sollten, so der Europarat 1963: „Doping ist die Verabreichung oder der Gebrauch körperfremder Substanzen in jeder Form und physiologischer Substanzen in abnormaler Form oder auf abnormalem Weg an gesunde Personen mit dem Ziel der künstlichen und unfairen Steigerung der Leistung für den Wettkampf. Außerdem müssen verschiedene physiologische Maßnahmen zur Leistungssteigerung des Sportlers als Doping angesehen werden.“ Diese Definition hatte zwar hohe moralische und ethische Ansprüche, sie war aber praktisch nicht umzusetzen, weil es keine geeigneten Kontrollmechanismen für die Einhaltung der geforderten Normen gab. Die Begriffe „moralisch“, „unfair“, „abnormaler Weg“ usw. sind kaum definierbar.

Als Folge der vielen ungeklärten Fragen, welche die Definition des Europarates ergab, stellte das Olympische Komitee 1996 eine weitere Doping-Definition auf, die konkret erlaubte und nicht erlaubte Wirkstoffgruppen nennt, aber nicht auf Gründe für ein Doping-Verbot eingeht: „Doping ist die Verwendung von Substanzen aus den verbotenen Wirkstoffgruppen (Stimulantien, Narkotika, anabole Wirkstoffe, Diuretika, Peptide und peptidanalogue Verbindungen) und die Anwendung verbotener Methoden (pharmakologische, chemische und physikalische Manipulationen, z. B. Blutdoping).“

Seit 2004 wird Doping auch nach Sportarten sowie während des Wettkampfes bzw. Trainings differenziert betrachtet (Reglement der World Anti-Doping Agency).

Aktuelle Dopingaffären können aufgegriffen werden, um Oberstufenschüler neugierig auf „Chemie“ zu machen. Was sind anabole Steroide (s. Abbildung 11)? Wie funktionieren und welche Nebenwirkungen haben sie? Wie werden sie nachgewiesen? Was ist das Besondere am Steroid-Grundgerüst? Wo begegnet es uns sonst noch [20]?

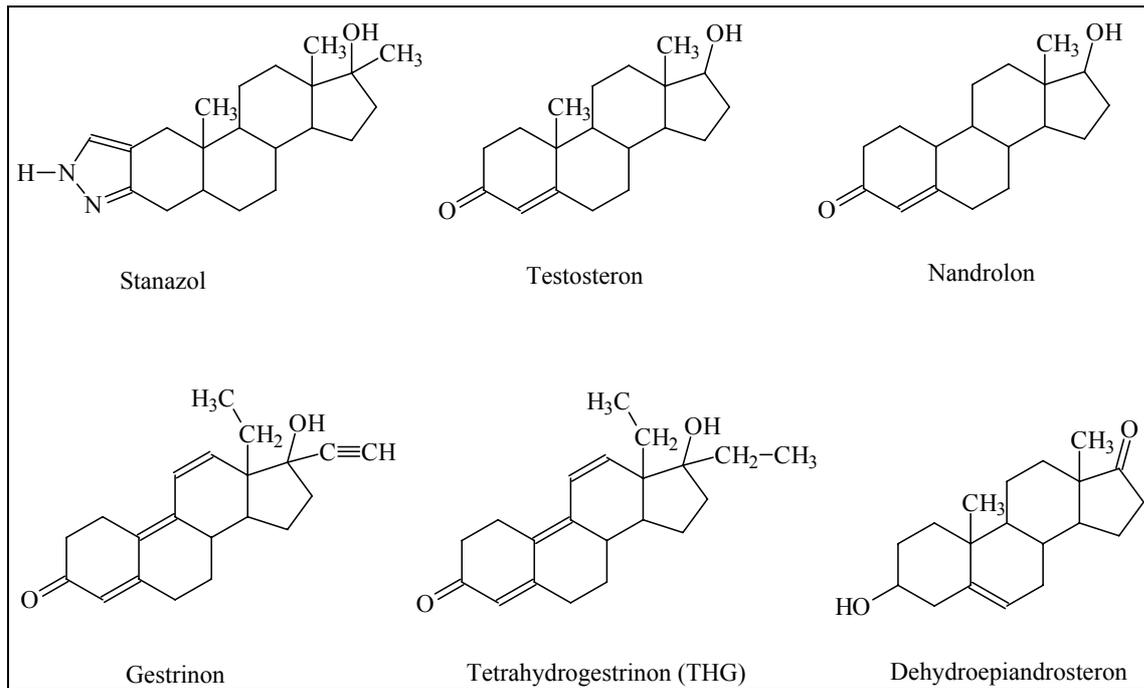


Abb. 11: Anabole Steroide

Hervorragendes Unterrichtsmaterial und vielseitige Doping-Informationen, speziell für Kinder und Jugendliche, befinden sich auf der Web-Seite des Instituts für Biochemie der Deutschen Sporthochschule Köln [53] (vgl. auch [54]).

Im Leistungssport geht es auch um viel Geld. Deshalb ist eine Leistungssteigerung durch Dopingmittel unlauterer Wettbewerb und strafbar.

Die Olympischen Spiele von 1988 wurden durch den gedopten 100-Meter-Sprinter *Ben Johnson* getrübt, dem der unerlaubte Gebrauch des anabolen Steroids Stanazol nachgewiesen wurde. Der Fußballer *Edgar Davids* und der Tennisspieler *Petr Korda* dopten sich mit Nandrolon etc. (Einige „berühmte“ Dopingskandale sind auf den Seiten 35 und 36 näher beschrieben.)

Der THG-Skandal aus dem Jahr 2003 hatte eine neue kriminelle Dimension. Ein amerikanischer Leichtathletik-Trainer behauptete, dass die Sportler eines Trainer-Konkurrenten mit einem neuen Wirkstoff gedopt wären. Bei der Untersuchung einer anonym eingeschickten Spritze wurde Tetrahydrogestrinon identifiziert.

THG ist ein sog. Designer-Steroid, das durch Modifikation des Dopingmittels Gestrinon hergestellt wird. Wahrscheinlich werden unter Verwendung eines geeigneten Katalysators zwei Moleküle Wasserstoff an die Ethinyl-Gruppe an der Position C-17 des Steroids addiert (siehe Abb. 14, S. 40)

Manche Doping-Laboratorien bezeichnen THG auch als *Doping-Maske*. THG stand bis zum Zeitpunkt seines Nachweises in den Urin-Proben von Sportlern auf keiner Dopingliste, obwohl es zu den anabol androgenen Steroid-Hormonen (s. u.) zu zählen ist. Obwohl Experten seit einiger Zeit vor Doping-Masken warnen, wäre THG ohne den anonymen Hinweis wahrscheinlich nicht entdeckt worden.

Prominente Dopingfälle

Ben Jonson

Der Kanadier war Olympiasieger im 100-Meter-Lauf von Seoul 1988. Er wurde des Dopings mit Stanazol überführt. (Erster Dopingfall mit großer Presse.)

Katrin Krabbe, Grit Breuer

Den beiden Sprinterinnen wurde 1992 Doping nachgewiesen. Die sehr lange Sperre wurde insbesondere von *Krabbe* juristisch angegangen. Sie verlangte Schadensersatz. Nach der langen Sperre gelang es *Krabbe* nicht mehr, an ihre alten Leistungen anzuknüpfen. *Breuer* schaffte es und wurde sogar deutsche Meisterin über 400-Meter.

Brisant: Der damalige Trainer *Thomas Springstein*, wurde verhaftet und verlor seine Lizenz. Später wurde er rehabilitiert. Er ist Lebensgefährte und Trainer von *Grit Breuer* beim SC Magdeburg. Bei einer Dopingkontrolle im Jahre 2004 wurden in seinem Haus testosteronhaltige Arzneimittel gefunden. So kam er erneut unter Dopingverdacht. Offenbar handelte es sich aber um Produkte, die *Springstein*, selbst Bodybuilder, für den Eigenbedarf verwendete. Sowohl seine jugendlichen Sprinter wie Lebensgefährtin *Breuer* sollen diese Präparate nicht eingenommen haben.

Dieter Baumann

Der deutsche Olympiasieger im 5000-Meter-Lauf von Barcelona 1992 setzte sich im Rahmen der Aktion „Keine Macht den Drogen“ besonders aktiv für sauberen, dopingfreien Sport ein. Nach einer positiven Probe im Jahre 1999 wurde *Baumann* des Dopings mit Nandrolon verdächtigt, was er vehement bestritt. Er erstattet Anzeige gegen Unbekannt. Nach einer freiwilligen Durchsuchung in seinem Haus wurde eine mit Nandrolon verseuchte Zahnpasta gefunden. Der Deutsche Leichtathletikverband zog darauf hin den Dopingvorwurf zurück, der Weltverband IAAF allerdings nicht. *Baumann* startete trotz Verbot bei deutschen Meisterschaften, gewann, und auch alle sonstigen Teilnehmer wurden vom IAAF für die Olympischen Spiele gesperrt. *Baumann* kämpft gerichtlich um Rehabilitation.

Alexander Leipold

Der deutsche Ringer wurde nach seinem Olympiasieg in Sydney 2000 des Dopings überführt, weil in seiner Urinprobe Nandrolon nachgewiesen wurde. Er beteuerte, keine Dopingsubstanzen eingenommen zu haben. Im Auftrag des IOC untersuchte das Kölner Dopinglabor 600 Nahrungsergänzungsmittel. Angegebene Inhaltstoffe waren: Kreatin, Carnitin und Aminosäuren, insbesondere Glutamin. Bei 18 Nahrungsergänzungsmitteln fand das Team um Prof. *Schänzer* Verunreinigungen; in 15 Fällen handelte es sich dabei um Vorläufersubstanzen des Nandrolons. Deshalb kämpft *Leipold* gerichtlich um Rehabilitation.

Marco Pantani

Der extrovertierte italienische Radfahrer, der schon öfter Probleme mit Drogen (Extasy, Kokain) hatte, wurde des Dopings überführt. Er konnte dem Druck der Verachtung wegen seines Dopingvergehens nicht standhalten und beging 2004 Selbstmord.

Jan Ullrich

Im Urin des deutschen Radfahrers und Tour-de-France-Siegers von 1998 wurden Rückstände der Partydroge Extasy gefunden. *Ullrich* gestand, bei einer Party Tabletten eingenommen zu haben. Er wurde nur relativ kurz gesperrt.

Kostas Kenteris, Ekatarina Thanou

Bei den Olympischen Spielen in Athen 2004 war die A-Probe der griechischen Sprinterstars positiv (Steroide). Wegen eines angeblichen Motorradunfalls erschienen die beiden Sportler nicht zur B-Probe. Doch der Unfall stellte sich als erfunden heraus. Beide Sportler traten schließlich zurück.

Ein schlechter Nachgeschmack blieb, weil Griechenland als Gastgeberland fast bis zuletzt die beiden Publikumsliebliche und Hoffnungsträger verteidigte.

Später wurde bekannt, dass *Kenteris* und *Thanou* ca. vier Wochen vor Beginn der Spiele schon einmal nicht zu einem Dopingtest erschienen waren.

Nina Kraft

Bei der deutschen Triathletin wurde nach ihrem Ironman-Sieg in Hawaii 2004 EPO⁸ (Erythropoietin) nachgewiesen. In einem folgenden Gespräch mit dem Vorsitzenden des deutschen Triathlonverbands gestand sie ein, einmalig in Hinblick auf Hawaii seit dem Spätsommer 2004 gedopt zu haben. *Nina Kraft* wurde für zwei Jahre gesperrt.

⁸ EPO ist ein Dopingmittel für den Ausdauersport. Es handelt sich um ein Hormon, das die Blutbildung in den Stammzellen des Knochenmarks anregt. Doping mit EPO ist nur schwer nachzuweisen, weil das Hormon auch vom Körper in der Niere produziert wird. Nur zwei europäische Institute, in Lausanne und Paris, können EPO nachweisen. Die Nachweise für körperfremdes EPO beruhen auf Untersuchungen vieler Blutparameter, die verglichen werden, und einer elektrophoretischen Trennung von künstlichem und natürlichem EPO, die möglich ist, weil künstliches EPO geringfügig anders aufgebaut ist als natürliches.

Zuerst sah es so aus, als handele es sich um eine auf amerikanische Athleten beschränkte Affäre. U. a. wurde der Kugelstoßer *Kevin Toth* und die Schwimmerin *Regina Jakobsen* überführt.⁹ Aber die Dopingwelle erstreckte sich auch nach Europa. Dort wurde der britische 100-Meter-Europameister und -rekordhalter *Twain Chambers* positiv auf THG getestet.

Anabole Wirkstoffe – kurz Anabolika – sind künstlich hergestellte Hormone. Sie leiten sich von dem männlichen Geschlechtshormon Testosteron (s. Abbildung 11) ab. Beim Testosteron unterscheidet man eine androgene (die männlichen Geschlechtsmerkmale beeinflussende) und eine anabole (muskelaufbauende) Wirkung. Bei der Herstellung synthetischer Anabolika will man bevorzugt die anabole Wirkung auszunutzen, die androgene ist aber weiterhin vorhanden und kann folgende Nebenwirkungen hervorrufen:

- Allgemeine Nebenwirkungen: Ausbildung von Akne und Wassereinlagerungen im Gewebe.
- Schädigung des Herzkreislaufsystems: Unter Anabolika-Anwendung wird die Konzentration der HDL-Fetteiweiße im Blutplasma erniedrigt und gleichzeitig die der LDL-Fetteiweiße erhöht. Damit erhöht sich der Quotient LDL/HDL, was als Risikofaktor zu sehen ist.
- Herzhypertrophie und Kapillarisation: Bei Hypertrophie der Herzmuskelzelle fehlt die notwendige Kapillarisation, wodurch es zu einem Sauerstoffmangel und zu Schädigungen kommt.
- Leberschäden: Anabolika über eine längere Zeit genommen, können zu irreversiblen Leberschäden führen. Besonders die an Position C-17 methylierten Steroide wie Stanazol sind gefährlich. Deshalb wird dieser Stoff heute so gut wie nicht mehr verwendet.
- Vermännlichung bei Frauen: Alle Anabolika verursachen bei Frauen eine Zunahme der Körperbehaarung, eine Veränderung der Stimme, Störungen des Menstruationszyklus und eine irreversible Klitorishypertrophie.
- Verweiblichung beim Mann: Dies können eine abnormale Brustvergrößerung oder Abnahme der Potenz bis zur Impotenz sein.
- Allgemeine Gefahren durch Schwarzmarktpräparate: Neben der Beschaffungskriminalität sind hier die Infektionsgefahr bei der Verwendung von nicht sterilen Spritzen und das Risiko der falschen Dosierung zu nennen.

Nach diesen Erläuterungen sind sich die Schüler sowohl der kriminellen Einstellung der gedopten Sportler (falsche Idole), deren Betreuern und der Dopingmittel-Hersteller als auch der Tatsache bewusst, dass Doping hochgradig gesundheitsschädlich ist.

Der Nachweis von Steroid-Hormonen erfolgt – ggf. nach Derivatisierung mit Trimethylchlorsilan – über Gaschromatografie in Kombination mit Massenspektroskopie.

⁹ In den Medien wurde die prominente Doppelweltmeisterin im 100- und 200-Meter-Sprint, *Kelly White*, mit dem THG-Skandal in Verbindung gebracht. Nicht, weil sie THG-gedopt war, sondern weil sie das Stimulans Modafinil eingenommen hatte, welches allerdings vom gleichen Lieferanten stammte wie das THG für die anderen Doping-Sünder.

Um zu unterscheiden, ob es sich z. B. um körpereigenes Testosteron oder solches aus Dopingmitteln handelt, bestimmt man in präparierten Blutproben gaschromatografisch das Verhältnis von Testosteron und Epitestosteron, einem Stereoisomeren des Testosterons. Normalerweise ist der T/E-Quotient recht konstant. Liegt er über 6, so wurde vermutlich gedopt (s. Abbildung 12).

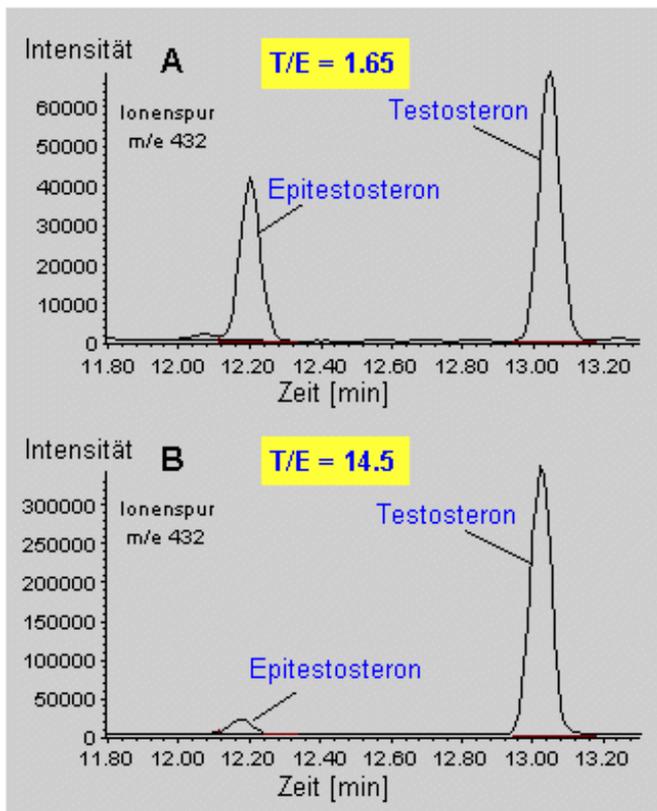


Abb. 12: Gaschromatogramme von Blutproben eines nicht-gedopten (A) und eines gedopten (B) Sportlers (Quelle: Institut für Biochemie der Deutschen Sporthochschule Köln)

Diese Diskussion überzeugt die Schüler von der Leistungsfähigkeit der modernen instrumentellen Analytischen Chemie.

Früher wurden 17-Ketosteroide im Urin mit 1,3-Dinitrobenzen und Kalilauge qualitativ nachgewiesen (Methode nach *Zimmermann*; s. Abbildung 13):

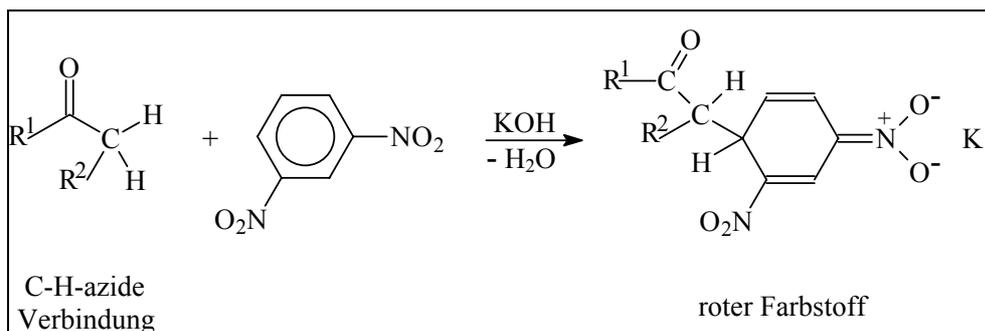


Abb. 13: Qualitativer Nachweis von 17-Ketosteroiden

Diese Methode eignet sich für ein lustiges *Doping-Sünder-Suchspiel* (Versuch 19). Jeder Schüler gibt einen Modell-Urin ab. Dieser enthält – bis auf einen Fall – 96%igen Ethanol. Lediglich der Modell-Urin des „Doping-Sünder“ beinhaltet zusätzlich 0,05% des Steroids Dehydroepiandrosteron (s. Abbildung 11). Jede Probe wird mit Dinitrobenzenen und Kalilauge versetzt, gemischt und 15 Minuten im Dunkeln stehen gelassen. Dann ist der „Übeltäters“, dessen Probe sich verfärbt hat, erwischt.¹⁰



Foto 4: Schüler beim Dopingsünderpiel

Für das Verständnis der chemischen Struktur und der Eigenschaften von Steroiden ist es förderlich, dass die Schüler mit einem Molekülbaukasten zunächst Gonan (s. Abbildung 15), den Grundbaustein der Steroide, basteln und mit dem Modell des Cyclohexans vergleichen. Während Cyclohexan von der Sessel- in die Wannenkongformation umklappen kann und umgekehrt, sind die verzahnten Ringe des Gonans nur bedingt beweglich.

Wenn die Jugendlichen anschließend ein Cholsäure-Modell bauen (s. Abbildung 14), erkennen sie, dass die polaren OH-Gruppen und die Carboxyl-Gruppe auf einer Seite des Moleküls stehen und diesem amphiphilen Charakter und damit Tensideigenschaften verleihen: Cholsäure ist eine Gallensäure, die Fett und Wasser im Verdauungstrakt miteinander kompatibel macht.

¹⁰ Hinweis: Da das Ketosteroid Dehydroepiandrosteron teuer und nur mit Endverbleiberklärung im Chemikalienhandel erhältlich ist, kann das „Spiel“ auch mit Aceton durchgeführt werden, das ebenfalls ein C-H-azides Keton ist und entsprechend reagiert. Der Reaktionsmechanismus sollte allerdings am Beispiel des Ketosteroids diskutiert werden.

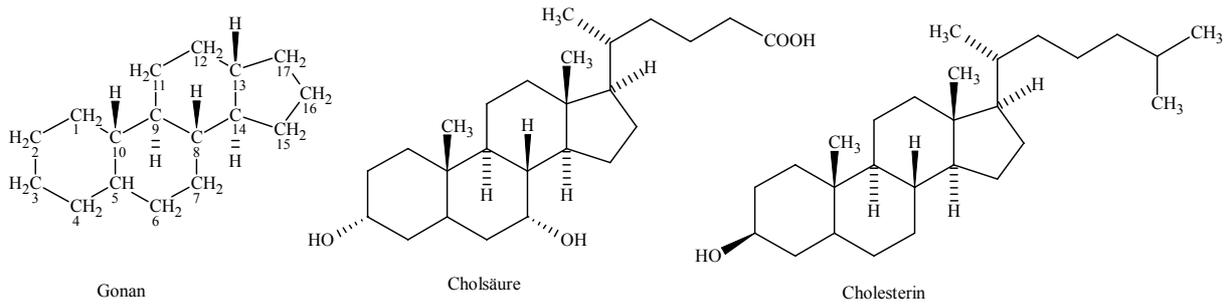


Abb. 14: Nomenklatur der Steroide, Gonan, Cholsäure und Cholesterin

Am Modell des Cholesterins (s. Abbildung 14) erkennen die Schüler ebenfalls einen polaren und einen unpolaren Molekülteil, und die Bedeutung des Cholesterins für den Aufbau vieler Zellmembrane (Einlagerung zwischen die Phospholipide) wird ihnen verständlich. Dort wird das Cholesterin zwischen den Phospholipiden eingelagert und erhöht so die Stabilität der Membran (s. Abbildung 15)

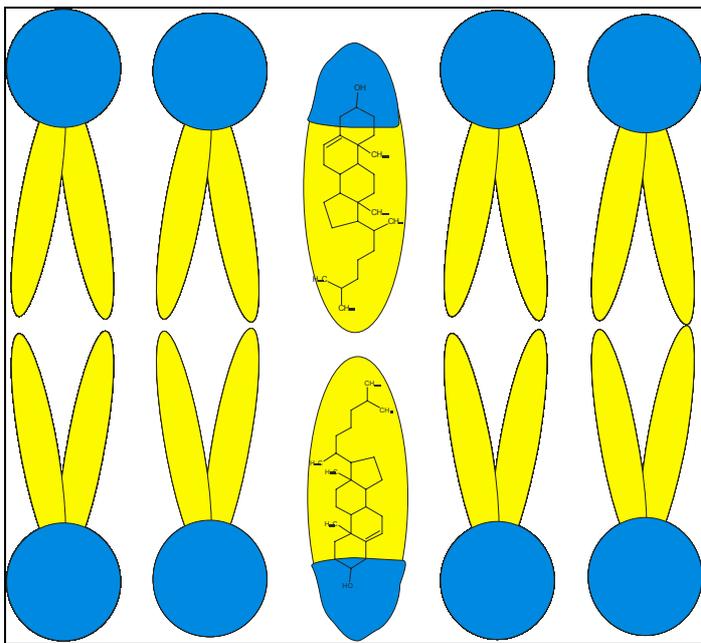


Abb. 15: Cholesterin in der Membran

Cholesterin besitzt zwar sowohl polare als auch unpolare Eigenschaften, aber die OH-Gruppe reicht nicht aus, um viele Cholesterinmoleküle in einer Mizelle zusammenzulagern, weil der lipophile Anteil zu groß ist. Im Körper verestert das Cholesterin, das nicht in die Membran eingebaut ist, reversibel mit Fettsäuren an der OH-Gruppe. Der entstandene Cholesterinester (s. Abbildung 16) ist komplett unpolar und kann in kleinen Tropfen im Zytoplasma gespeichert werden [55].

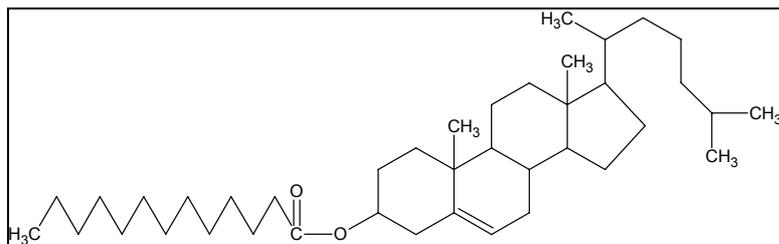


Abb. 16: Cholesterinester

4.4 Kältesprays

Man sieht es oft: Ein Tritt vor das Schienbein. Der gefoulte Fußballer wälzt sich am Boden. Sanitäter eilen herbei und sprühen eine Mischung aus Ethanol und Menthol [56] auf die lädierte Stelle. Der tapfere Held steht auf und kämpft weiter. Hier wird Verdampfungsenthalpie ausgenutzt, um einer Schwellung vorzubeugen.

Wenn die Schüler eine Schale mit Pentan füllen, ein Thermometer in die Flüssigkeit tauchen und über die Flüssigkeit blasen, werden sie feststellen, dass die Temperatur sinkt. Das Verdampfen einer Flüssigkeit ist ein endothermer Vorgang. Ergänzend können die Schüler sich etwas Lösung von Menthol in Pentan auf den Handrücken tropfen und spüren, wie es kalt wird (Versuch 21).

4.5 Kunststoffe im Sport

Die in diesem Kapitel vorgeschlagenen sieben Unterrichtsmodule eignen sich, um Schülern in Arbeitsgemeinschaften, Themenwochen sowie in Chemie-Grund- und Leistungskursen Teilaspekte der Kunststoffchemie über den Bezug zum Sport lebensnah zu vermitteln. Denn die Jugendlichen haben ein Gefühl dafür, wie sehr moderne Materialien das Radfahren, Tennisspielen, Skilaufen etc. – wichtige Bereiche ihres Lebens – maßgeblich beeinflussen, und möchten mehr darüber wissen. Alternativ können die Module genutzt werden, um Sport-Grund- und Leistungskurse mit theoretischen Kapiteln zu bereichern [21, 22, 57].

4.5.1 Cellulosenitrat und Tischtennisbälle

Chemie-historisch gesehen ist es bemerkenswert, dass einer der ersten Kunststoffe, das Celluloid, aufgrund einer Anfrage aus dem Billard-Sport entwickelt worden ist. Früher wurden Billardkugeln aus Elfenbein gefertigt. Dafür mussten bis zur 19. Jahrhundertwende jährlich 12000 Elefanten ihr Leben lassen. Da Elfenbein als Naturstoff kleine Unregelmäßigkeiten besitzt, liefen die Kugeln nicht immer geradeaus. Die amerikanische Firma Phelan & Collendar versprach 10000 Dollar für die Erfindung eines Ersatzmaterials. Das Preisgeld war ein Ansporn für *John Wesley Hyatt*. Doch seine Erfindung, – eine teilnitrierte und mit Campher weich gemachte Cellulose (im Mittel knapp 2 Nitro-Gruppen pro Baustein) –, nutzte er nicht, um die Prämie zu bekommen, sondern gründete eine eigene Firma, die Albany Billard Company. Sein Kunststoff Celluloid machte allerdings keine große Karriere als Billard-Kugel, sondern eine in Hollywood als Trägerfolie für Filme sowie bis heute noch als Material für Tischtennisbälle. Im Experimentalunterricht bieten sich die Herstellung von Nitrocellulose, das Einarbeiten von Campher, die Verbrennung des so nachgestellten Celluloids im Vergleich zu Baumwolle sowie die Verbrennung eines Tischtennisballs an (Versuch 22).

4.5.2 Tennisbälle

Moderne Tennisbälle sind keine hohlen Filzkugeln. Die Bälle, z. B. der Firma Tretorn [58], sind mit 700 Millionen Mikrozellen gefüllt, die ein gleichbleibendes Spielverhalten garantieren sollen. Ihre Ummantelung besteht aus einer festen Hülle von Titan(IV)-oxid und Polybutadien zur Verbesserung der Spieleigenschaften. Die Außenhaut ist aus einem Spezialfilz für lange Haltbarkeit und gutes Ballgefühl auf allen Bodenbelägen gefertigt. Es lohnt sich, einen Tennisball aufzuschneiden und das Füllmaterial unter dem Mikroskop zu betrachten.

4.5.3 Polyurethan und regenfeste Fußbälle

Auch das Fußballspiel ist durch die Errungenschaften der Chemie verändert worden. Während *Fritz Walter*, *Uwe Seeler* und *Franz Beckenbauer* bei Regenschlachten immer damit rechnen mussten, dass das „Leder“ mit zunehmender Spieldauer schwerer wurde, weil es Wasser aufsaugte, hat *Michael Ballack* dieses Problem nicht, denn sein Spielgerät besteht zu einem großen Teil aus Polyurethan. Dieses weist Wasser ab. Außerdem bewirkt es, dass der Ball nach einem Schuss sehr rasch wieder seine ursprüngliche Form annimmt, so dass die Flugbahn präzise ist. Wie wäre es im Unterricht mit folgendem Experiment? Ein alter Leder- und ein moderner PU-Ball werden eine Stunde unter Wasser getaucht. Dann werden die Massenveränderungen bestimmt und mit beiden Bällen Elfmeter geschossen. Ergänzend darf natürlich die Herstellung eines Polyurethan-Schaumes nicht fehlen (Versuch 23), um den Schülern exemplarisch die PU-Stoffklasse vorzustellen.

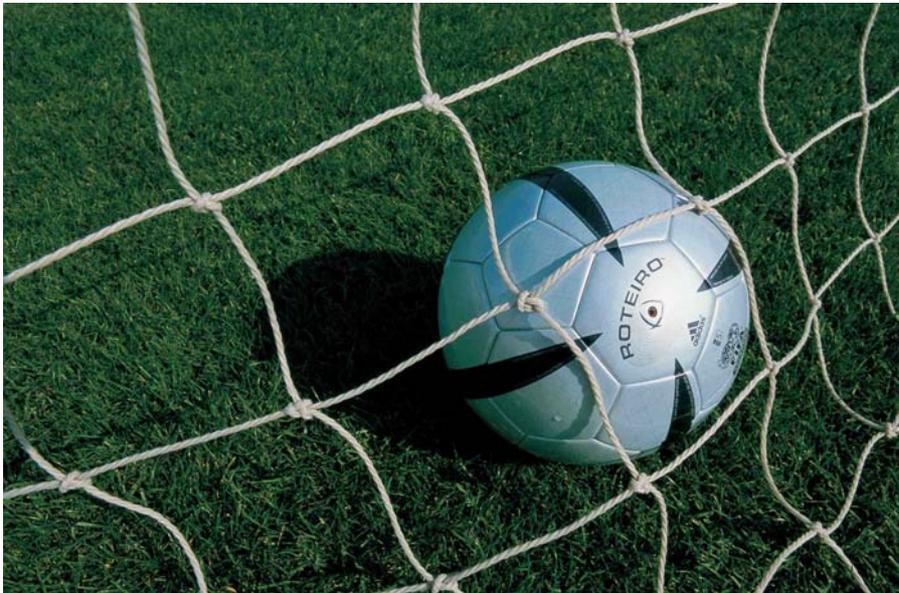


Foto 5: Hightech-Fußball Roteiro

4.5.4 Polyamid und Tennisschläger-Bespannungen

Vielleicht hat Großvater noch seinen alten Tennisschläger – mit Darmbespannung. Dieses Material ist im Tennissport mittlerweile durch Polyamid ersetzt. Der Kunststoff, den die Schüler im „Nylonfaden-Trick“ oder durch Ziehen aus einem „AH-Salz“-Kondensat (Salz der Adipinsäure und Hexamethyldiamin) erleben sollten (Versuch 24 und 25), ist mechanisch belastbarer als das tierische Material und erlaubt deshalb härtere Schläge.

4.5.5 Polyethen und Wachs für die Ski-Reparatur bzw. -Beschichtung

Die ersten Skier waren aus Vollholz (Föhre, Hickory, Ahorn, Buche). Ihre Unterseiten wurden mit Speck- oder Hering-Schwarten bestrichen, um sie gleitfähiger zu machen. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Vollholzschi durch verleimte Ski ersetzt, die sich durch eine bis dahin nicht gekannte Elastizität auszeichneten. 1950 entwickelte der Luftfahrtpionier *Ludwig Bölkow* die ersten Kunststoffski. Diese hatten eine hohe Bruchfestigkeit und eine gute Schwingungsdämpfung. 1972 wurden die ersten Ski basierend auf einem Epoxid-Harz und Carbonfasern von der Firma Völkl hergestellt. Während beim Holzski oft Unfälle mit Skibruch vorkamen, sind die modernen Skier bruchfest und lassen sich fast zu Ellipsen biegen, ehe sie brechen [59, 60]. Ein Skibelag sollte eine gute Wachaufnahmefähigkeit, Alterungsbeständigkeit, Abriebfestigkeit, Kälteelastizität und Gleitfähigkeit auf dem Schnee besitzen. Im heutigen Skibau wird für die Lauffläche eine Kombination von Niederdruck-Polyethen für eine gute Wachaufnahme und Hochdruck-Polyethen für eine gute Festigkeit verwendet. Im Unterricht kann auf die Herstellung der unterschiedlichen PE-Typen eingegangen werden, bevor mit einem im Sportgeschäft erhältlichen PE-Stift ein beschädigter Ski repariert und anschließend gewachst wird, wobei die Schüler mit den thermischen Eigenschaften von Polyethen und Wachs vertraut werden (Versuch 26).

Dem Wachs kommt eine wichtige Rolle zu. Durch das Gleiten des Skis auf dem Schnee wird Reibung erzeugt. Der Schnee wird an den Kontaktpunkten partiell geschmolzen. Die entstehenden mikroskopisch kleinen Wassertropfen, die so genannten Schmelzkappen, sorgen für einen regelrechten Schmiereffekt. Die richtige Wachsmischung hat großen Einfluss auf das Reibungsverhalten zwischen Ski und Schnee. Die Härte der Belagoberfläche wird dem Schnee angepasst und das Benetzungsverhalten des Skibelags gegenüber Schmelzwasser wird wesentlich beeinflusst.

Wird die Kontaktfläche zu groß, vergrößert sich die Reibung. Wird die Kontaktfläche zu klein, verringert sie sich und der gewünschte Schmiereffekt kann nicht erzielt werden.



Foto 6: Jugendliche bei der Skipräparation

4.5.6 Verbundfasern für Tennisschläger- und Fahrradrahmen

Hätte die Tennis-Legende *Björn Borg* heute noch eine Chance? Mit seinem alten Holzschläger kaum. Tennisschläger werden heute aus Verbundwerkstoffen gefertigt. Häufig kommen Glas-, Aramid- (flüssigkristallines¹¹ aromatisches Polyamid) oder Karbonfasern zum Einsatz, die in ein Epoxid-Harz eingebettet sind (Versuche 27 und 28). Anisotrope Kohlenstofffasern, die aus ineinander greifenden und in Faserrichtung orientierten Graphitschichten bestehen, können die Schüler aus Polyacrylnitrilfasern synthetisieren (Versuch 27). Die Materialien zeichnen sich im Vergleich zu den klassischen durch geringere Dichte und größere mechanische Belastbarkeit aus.

In der Zukunft enthalten Tennisschläger vielleicht Nanoröhrchen. Das sind hohle, zylinderförmige Gebilde mit einem Durchmesser von wenigen Nanometern und einer Länge von mehreren Mikrometern. Sie versprechen noch bessere mechanische Eigenschaften als die augenblicklich verwendeten Fasern. Schwierigkeiten bestehen zurzeit noch, sie in Kunststoffmatrizen einzubetten [61].

¹¹ Im flüssigen Zustand gibt es keine innere Ordnung, dementsprechend gibt es auch keine Vorzugsrichtung für die physikalischen Eigenschaften. Im Gegensatz dazu ist ein Kristall dreidimensional strukturiert aufgebaut. Durch die gerichteten zwischenmolekularen Bindungskräfte ergeben sich richtungsabhängige physikalische Eigenschaften (anisotroper Zustand).

Bei den meisten organischen Verbindungen gehen die Aggregatzustände bei Wärmezufuhr ineinander über. Bei Molekülen mit ausgeprägtem stäbchen- oder scheibchenförmigem Aufbau schiebt sich zwischen den festen und den flüssigen Zustand noch der sog. flüssigkristalline Zustand, durch den der Stoff physikalisch gerichtete Eigenschaften erhalten kann.

Neue Materialien beherrschen auch den Radsport. *Jan Ullrich* würde mit dem Rad von *Rudi Altig*, das noch keine Kohlenstofffasern kannte, nur in Ausnahmefällen die Konkurrenz abhängen. Den Bau eines Fahrradrahmens aus Karbonfasern sollte man sich auf einem Video [62] anschauen. Bei aller Euphorie für die neuen Werkstoffe, sollte mit den Schülern kritisch diskutiert werden, welcher Fahrradrahmen wirklich der beste ist.

In letzter Zeit haben sich neben dem „alten“ Stahl Carbon-, Kevlar-, glasfaserverstärkte Kunststoffe, Aluminium, Titan und neue Legierungen etabliert [63]. Noch vor wenigen Jahren fuhren nur Profiradrennfahrer mit Rahmen aus solchen Materialien. Für den Durchschnittsradler waren sie viel zu teuer. Mittlerweile sind Fahrradrahmen aus modernen Werkstoffen zwar immer noch relativ teuer, aber durchaus erschwinglich. Viele Jugendliche finden den konventionellen Stahlrahmen „langweilig“ und altmodisch.



Foto 7: Tennisschläger unterschiedlichen Alters aus unterschiedlichen Materialien

Neben der Dichte sind die mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe (Zugfestigkeit, Elastizität, Abriebfestigkeit, Biegesteifigkeit) wichtig. Ein Maß für die Steifigkeit ist das Elastizitätsmodul (E-Modul), welches das Verhältnis der auf einen Werkstoff einwirkenden Spannung zur Längsdehnung beschreibt. Diese Eigenschaft korreliert mit den Bindungskräften der Atome untereinander. Je fester die Bindung ist, desto höher ist das E-Modul (s. Tabelle 2).

Werkstoff	E-Modul [kN/mm ²]	Dichte [g/cm ³]
Stahl	210	7,8
Aluminium	73	2,8
Glas	73	2,4
Kohlenstofffaser-Verbundwerkstoff	200	2,0
Holz	14	0,5
Aluminiumoxid	380	4,0

Tabelle 2: Eigenschaften von Werkstoffen im Vergleich [64]

Schäden treten in der Regel nicht auf, weil das Material einer zu starken Kraft ausgesetzt wird, sondern durch Ermüdung. Viele Materialien altern bei ständig gleich bleibender Belastung. In dieser Beziehung hat der klassische Werkstoff Stahl einen Vorteil. Tests haben gezeigt, dass ein Stahlretlager erst nach 25 Millionen Umdrehungen Verschleißerscheinungen zeigt [65, 66].

Eine solch große Zahl an Umdrehungen schafft kein noch so ambitionierter Radfahrer. Die Ermüdungs-Kurve von Stahl zeigt zwar am Anfang eine geringe Abnahme der Belastbarkeit flacht dann aber ab und bildet ein Plateau, das als Ermüdungslimit bezeichnet wird. Das bedeutet, dass Designer unter Berücksichtigung dieser Sicherheitseigenschaften einen Rahmen konzipieren können, der theoretisch einer ständigen Belastung, die dieses Limit nicht überschreitet, standhält. Andere Materialien, wie Aluminium, Titan oder Verbundkunststoffe zeigen ein Belastungslimit, nach dessen Erreichen eine Materialermüdung eintritt.

Zudem sind Rahmen aus Stahl relativ preisgünstig. Schließlich kann sich nicht jeder Hobbyradfahrer für eine Bergetour ein neues Fahrrad bauen lassen, wie es beispielsweise *Jan Ullrich* für seine Bergetappen macht. Außerdem sollte gerade der Breitensportler nachrechnen, ob die teuer erkaufte Gewichtersparnis von wenigen Kilogramm überhaupt sinnvoll ist, wenn er z. B. selbst ein paar Kilo zu viel auf die Waage bringt.

Zwar überzeugen die neuen Materialien durch ihre geringe Dichte. Um aber den Stabilitätsnachteil auszugleichen, müssen die Rohre viel dicker und größer konstruiert werden. Die resultierenden sog. „Oversized-Rahmen“ sind nicht jedermanns Geschmack; auch deshalb hat Stahl weiterhin einen festen Platz im Fahrradbau.

Selbst im professionellen Radsport wird bei hohen Belastungen auf Stahlrahmen zurückgegriffen. Sprinter wie *Erik Zabel* treten besonders hart in die Pedale; dem resultierenden Druck halten Stahlrahmen immer noch am besten stand.

Titan als Werkstoff für Fahrräder wird wohl nur den Reichen vorbehalten bleiben – bei Preisen von ca. 5000 € für den Rahmen. Hinzu kommt, dass Titan schneller als Stahl Ermüdungserscheinungen zeigt. Außerdem kann es nur unter Schutzgas (Argon) geschweißt werden [67].

4.5.7 Membrane für atmungsaktive Sportkleidung

Jogging bei Wind und Regen ist nicht nur für den Menschen, sondern auch für seine Kleidung eine Herausforderung. Einerseits muss die Sportkleidung den verdampfenden Schweiß nach außen leiten, damit kein Wärmestau entsteht, und den flüssigen Schweiß aufsaugen, damit der Körper des Sportlers trocken bleibt und er sich wohl fühlt. Andererseits muss sie den Aktiven vor Wind schützen, um eine Unterkühlung zu vermeiden, und Regentropfen abstoßen, damit die Kleidung nicht schwer wird und kein Nässegefühl entsteht.

Früher wurde Baumwolle (chemisch Cellulose) als Material für Sportkleidung empfohlen. Die Cellulose hält zwar warm und lässt Luft durch, nimmt aber sehr leicht Wasser – Schweiß und Regen – auf. Die von *Bob Gore* entwickelte und nach ihm benannte Gore-Tex[®]-Membran hat die Sportkleidung revolutioniert. Die hauchdünne Membran aus Polytetrafluorethen besitzt 1,4 Milliarden Mikroporen pro Quadratzentimeter. Die Porengröße ist so, dass gasförmiges Wasser – verdunstender Schweiß – hindurch kann, Regentropfen hingegen abperlen. Nachteilig ist lediglich, dass der flüssige Schweiß nicht aufgesaugt wird. Dieses Defizit hat beispielsweise das neue HIGH₂OUT-Laminat der Firma Sympatex[®] nicht. Es passt seine Wasserdurchlässigkeit der Schweißmenge an. Auf der Körperseite befindet sich eine Wasser saugende Lage. Die darauf laminierte Membran hat hydrophobe und hydrophile Elemente, vergleichbar einer Mauer aus Steinen, die mit Mörtel verklebt sind. Die kleinen hydrophilen Kanäle (vergleichbar dem Mörtel) kann lediglich das gasförmige Wasser, also der verdunstende Schweiß, durchqueren. Regentropfen von draußen können hingegen nicht nach innen. Sie perlen ab. Bei erhöhter Temperatur und Luftfeuchtigkeit, die nur auf der körpernahen Innerseite resultieren, quellen die hydrophilen Bereiche auf, so dass auch der flüssige Schweiß absorbiert werden kann und der Schweißtransport somit insgesamt verbessert wird.

Die Schüler können die Membrane in Hinblick auf ihre Durchlässigkeit gegenüber flüssigem und gasförmigem Wasser untersuchen (Versuch 29).

4.5.8 Schwimmanzüge

Man hatte sich daran gewöhnt, dass mancher Schwimmer seine Körperhaare abrasiert, um – aalglatt – als erster das Ziel zu erreichen. Deshalb war es überraschend, als einige Athleten bei den Olympischen Spielen 2000 bekleidet ins Wasser sprangen und sehr erfolgreich waren. Die Sportler trugen Ganzkörperanzüge aus einer besonders gut anliegenden neuen Polyurethanfaser (Elastan[®]) (Abbildung 17):

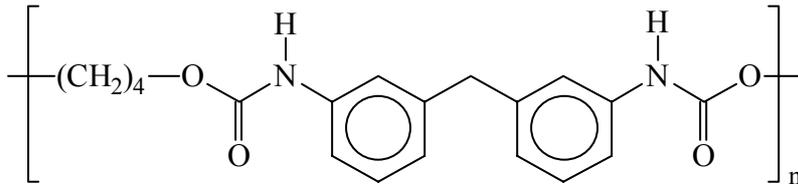


Abb. 17: Ein Polyurethan für Schwimmanzüge

Schon mit dem bloßen Auge (besser mit der Lupe) erkennt man eine Oberflächenstruktur aus geschuppten winzigen V-förmigen Erhebungen, die in Höhe und Breite genau den Zähnen der Haifischhaut entsprechen. Dadurch entstehen Verwirbelungen, die den Reibungswiderstand im Wasser absenken [68].

5 Erfahrungsberichte

Die in diesem Kapitel geschilderten Erfahrungen belegen, dass Chemie und Sport fächerverbindend unter Anwendung verschiedenster Lernmethoden, wie Brainstorming, Mindmapping, Gruppendiskussion, Referate, Lehrervortrag, Videos, Internet-Recherche, Gruppen- und Demonstrationsexperimente, Lernzirkel etc. erfolgreich und mit hoher Akzeptanz bei den Lernenden unterrichtet werden kann, im Regelunterricht, in Arbeitsgemeinschaften, an außerschulischen Lernorten [13] und auch an der Universität.¹²

¹² Um den Verlauf der Kurse für den Leser verständlich beschreiben zu können, müssen öfters Passagen aus dem Kapitel 4 (verkürzt) wiederholt werden.

5.1 Sport- und Chemiekurse in der gymnasialen Oberstufe

In zwei *Sport-Grundkursen* (insgesamt 46 Schüler) der Klassenstufe 13 ging es um die Energiebereitstellung im Körper bei sportlichen Aktivitäten. Die Ausgangsfrage lautete: „Woher kommt der Muskelkater?“ Die Schüler kannten Aussagen wie „Meine Muskeln sind sauer, ich kann nicht mehr“ oder „Ich bin völlig übersäuert“. Daran wurde angeknüpft, indem sportmedizinische Untersuchungen zitiert wurden, nach denen der Muskelkater einerseits auf kleinste Verletzungen der Muskeln zurückzuführen ist, andererseits auch auf einen Anstieg der Milchsäurekonzentration in der Muskulatur bei der anaeroben Muskelarbeit. Nur der letzte Grund für den Muskelkater wurde intensiver beleuchtet.

Den Schülern wurde eine Einführung in die Biochemie der Energiebereitstellung bei körperlicher Aktivität gegeben (vgl. Kapitel 4.1.1). Nach einem Sprint konnten die Schüler den Laktat-Anstieg in ihrem *eigenen* Blut mit Hilfe der chemischen Analytik (Teststreifen; Versuch 3) *erleben*. Bei einem 100-Meter-Sprinter beispielsweise stieg der Laktat-Wert von 1,2 auf 18,1, bei einer 100-Meter-Läuferin von 0,8 auf 15,8 mmol/l. Dies fanden die jungen Menschen sehr beeindruckend, so dass sie motiviert waren, sich mit weiteren chemischen Fragestellungen zu befassen.

Zunächst erprobten sie den qualitativen Nachweis von Laktat als zeisiggrünes Eisenslaktat (Versuch 4), bevor auf das leistungsfördernde Kreatin eingegangen wurde (Kreatinphosphat regeneriert verbrauchtes ATP; vgl. Kapitel 4.2.8). Etliche Schüler wussten bereits, dass der Stoff in letzter Zeit häufig als „legales Dopingmittel“ – weil Kreatin ein körpereigener Stoff ist – bezeichnet wurde. Durch die vielen Presseberichte wurde das Interesse der Schüler daran geweckt, einen qualitativen Nachweis von Kreatin im Sportgetränk Zell-Tech[®] kennen zu lernen (Versuch 19).¹³

Aktuelle Dopingaffären (vgl. Kapitel 4.3) wurden aufgegriffen, um den Fragen nachzugehen: „Was sind anabole Steroide? Wie funktionieren und welche Nebenwirkungen haben sie? Wie werden sie nachgewiesen?“ Eine Schülerin hielt dazu ein Referat. Als Informationsquelle hatte sie die Web-Seite des Instituts für Biochemie der Deutschen Sporthochschule Köln [51] benutzt.¹⁴ Ein lustiges Doping-Sünder-Suchspiel schloss sich an (Versuch 20): Jeder Schüler gab einen Modell-Urin ab. Dieser enthielt – bis auf einen Fall – 96%iges Ethanol. Lediglich der Modell-Urin des „Doping-Sünders“ beinhaltete zusätzlich 0,05% des Steroids Dehydroepiandrosteron. Jede Probe wurde mit Dinitrobenzen und Kalilauge versetzt, und nur die Probe des „Übeltäters“, dessen Probe das 17-Ketosteroid enthielt, verfärbte sich rot.

¹³ An den Kaufmännischen Schulen in Dillenburg fand im Herbst 2000 erstmals für alle Chemie-Kurse der Jahrgangsstufe 13 (58 Schüler) ein 6 Doppelstunden umfassendes Projekt „Ernährung und Sport“ statt, das u. a. die hier vorgestellten Themen beinhaltete. Wegen der positiven Resonanz ist diese Unterrichtseinheit mittlerweile zum festen Bestandteil des Schulprogramms geworden (siehe auch Anhang 3).

¹⁴ Gerade an diesem Beispiel wird besonders deutlich, wie der vorgeschriebene Theorieteil im Fach Sport sinnvoll mit chemischen Themen erfüllt werden kann.

Der Kurs zum Thema Doping wurde mit dem Bau eines Steroidgerüsts abgeschlossen, um den Teilnehmern auch eine Vorstellung von der Strukturchemie der Verbindungsklasse der Steroide zu vermitteln. Wo uns Steroide sonst noch begegnen, z. B. im Blut (Cholesterin), in entzündungshemmenden Salben (Cortison), als Geschlechtshormone, in der „Anti-Baby-Pille“ oder in der „Pille-danach“, wurde kurz angesprochen, um weiteres Interesse für die Chemie zu wecken.

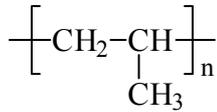
Nachdem in einem *Chemiekurs* die lehrplanmäßigen Inhalte zum Thema „Makromolekulare Chemie“ behandelt und in einem kleinen Test (s. Abbildung 18) geprüft worden sind, können die Schüler einen *Lernzirkel* „Kunststoffe im Sport“ [20] mit folgenden Experimenten durchführen

- Chemie der Tennisschläger-Bespannung (Polykondensation; Versuche 24, 25)
- Chemie der Fußballbeschichtung (Polyaddition; Versuch 23)
- Chemie des Tischtennisballs (polymeranaloge Reaktion; Versuch 22)
- Chemie beim Skilauf (thermoplastische Verformung; Versuch 26)
- Carbonfasern für Fahrradrahmen (Pyrolyse; Versuch 27)
- Faserverbundmaterialien (Duromere; Versuch 28)
- Membrane für atmungsaktive Sportkleidung (Anwendungstechnik; Versuch 29)

und zur Vertiefung Fragebögen dazu im Team und unter Zuhilfenahme von Fachbüchern und dem Internet beantworten (s. Abbildung 19).

Eingangstest zum Lernzirkel „Kunststoffe im Sport“

1. Wie heißt der folgende Stoff:



2. Was versteht man unter dem Begriff „Thermoplast“?
3. Was bedeuten die Abkürzungen „PE“ und „PS“?
4. Was bedeutet „Polykondensation“? Kennen Sie ein „Polykondensat“?
5. Wieso bezeichnet man Kunststoffe häufig als „weißes Erdöl“?
6. Wieso finden Kunststoffe gerade im Auto- und Flugzeugbau zunehmend Verwendung?
7. Mit welchem Kunststoff sind die meisten Bratpfannen beschichtet?
8. Welcher Kunststoff wird hauptsächlich für Fußbodenbeläge verwendet?
9. Aus welchen Atomen besteht „Silicon“?
10. Welchen Kunststoff hat *Karl Ziegler* erfunden?

Abb. 18: Eingangstest zum Lernzirkel „Kunststoffe im Sport“

Aufgaben zur Station: „Chemie der Tennisschläger-Bespannung“

1. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung zur Bildung des Nylonfadens.
2. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von AH-Salz.
3. Wodurch unterscheiden sich Thermoplaste, Elastomere und Duromere?
Zu welcher dieser Stoffklassen gehört Nylon?

Aufgaben zur Station: „Chemie der Fußballbeschichtung“

1. Woher kennen Sie PU-Kunststoffe aus dem Alltag?
2. Was ist ein Diisocyanat? Wie reagiert es mit einem zweiwertigen Alkohol?
3. Was versteht man unter Polyaddition?
4. Wie kommt das Aufschäumen bei dem Versuch zustande?

Abb. 19: Aufgaben zu den Stationen des Lernzirkels „Kunststoffe im Sport“

Aufgaben zur Station: „Chemie des Tischtennisballs“

1. Was ist Cellulose? Wie wird ihr Baustein in der Natur gebildet?
2. Wodurch unterscheidet sich Cellulose von Stärke?
3. Was bedeutet „polymeranalogue Reaktion“?
4. Nitriersäure wird u. a. auch bei der Nitrierung von Benzen benötigt. Erläutern Sie bitte den Reaktionsmechanismus.
5. Wieso verbrennt Nitrocellulose nach dem Entzünden?
(Hinweis: Was bedeuten „brandfördernder Stoff“ und „brennbarer Stoff“?)
6. Welche Funktion hat der in die Nitrocellulose eingearbeitete Campher?
7. Schlagen Sie bitte in einem Chemielexikon die Strukturformel von Campher nach. Zu welcher Verbindungsklasse gehört der Stoff?

Aufgaben zur Station: „Chemie beim Skilauf“

1. Was ist der Unterschied zwischen Niederdruck- und Hochdruck-Polyethen?
2. Ist Wachs ein Kunststoff?
3. Was bedeutet „hydrophob“?
4. Welche Lösungsmittel können verwendet werden, um Wachs zu lösen?

Aufgaben zur Station: „Carbonfasern für Fahrradrahmen“

1. Informieren Sie sich bitte im Chemielexikon oder im Internet über die Herstellung von Kohlenstofffasern.
2. Schauen Sie bitte im Internet nach, was Sie unter dem Stichwort „Nanoröhrchen“ finden?
3. PAN gehört zur Gruppe der Polymerisate. Aus welcher Verbindung wird es hergestellt und nach welchem Reaktionsmechanismus?
4. Wozu wird PAN – außer zur Herstellung von Kohlenstofffasern – noch benötigt?

Aufgaben zur Station: „Faserverbundmaterialien“

1. Informieren Sie sich bitte im Chemielexikon oder im Internet über die Herstellung von Glas- und Aramid.
2. Was ist ein Epoxid?
3. Was ist ein Epoxid-Harz?

Aufgabe zur Station: „Membrane für atmungsaktive Sportkleidung“

1. Definieren Sie bitte die Begriffe „Membran“ und „semipermeable Membran“.

Abb. 19 (Fortsetzung): Aufgaben zu den Stationen des Lernzirkels „Kunststoffe im Sport“

Musterlösung zum Lernzirkel „Kunststoffe im Sport“

1. Polypropen

2. Thermoplaste sind Kunststoffe, die aus linearen Makromolekülen aufgebaut sind. Bei Erwärmen gehen sie in einem größeren Temperaturintervall vom festen in den flüssigen Zustand über. Die Polymerstränge werden durch Wasserstoffbrücken oder van der Waals-Kräfte zusammen gehalten. Bei entsprechender Temperatur können die Polymeren aneinander vorbei gleiten und der Kunststoff schmilzt.

Thermoplaste können deshalb in beliebige Formen gepresst werden. Nach dem Abkühlen erhält man dann ein neu geformtes Kunststoffteil.

3. Polyethen und Polystyren

4. Eine Polykondensation ist eine Reaktion, bei der mindestens bifunktionelle Monomere mit einander reagieren und Makromoleküle bilden. Bei der Reaktion werden kleine Moleküle wie H_2O , NH_3 , HCl usw. abgespalten.

5. Die Rohstoffe der Kunststoffe, die Monomeren, sind zum großen Teil Zwischenprodukte aus dem Erdöl.

6. Sie sind leicht, korrosionsresistent und können recycelt werden.

7. Teflon. Es handelt sich um einen sehr hitzeresistenten Kunststoff, der ursprünglich für die Raumfahrtindustrie entwickelt wurde. Teflon wird auch als Kunststoff für die semipermeablen Membranen der Gore-Tex[®]-Kleidung verwendet.

8. Polyvinylchlorid (PVC). Es werden zwei Sorten PVC unterschieden. Hart-PVC wird z. B. für Fußbodenbeläge verwendet und Weich-PVC z. B. für Verpackungsfolien. Dem Weich-PVC werden große Moleküle, sog. Weichmacher zugesetzt, die sich zwischen die PVC-Makromoleküle schieben.

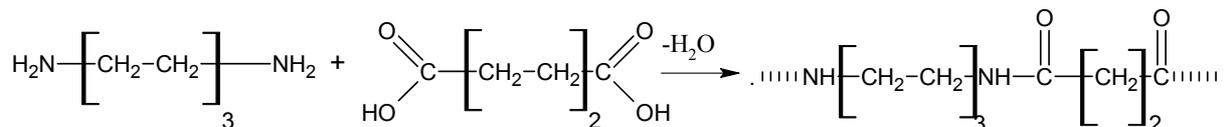
9. Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff. Man kann die Polymerformel vereinfacht darstellen: $[-\text{O}-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-]_n$

10. Karl Ziegler entdeckte 1953, dass man mit Hilfe von Katalysatoren (Aluminiumtrialkylen und Titan-tetrachlorid) Ethen auch bei Normaldruck polymerisieren kann. Das entstehende Polyethen setzt sich aus langkettigen, unverzweigten Molekülen zusammen. Das sogenannte Niederdruck-Polyethen besitzt deshalb hohe Festigkeit und Wärmestabilität. Bis zu Zieglers Entdeckung wurde Ethen unter hohem Druck polymerisiert. Das Hochdruck-Polyethen besitzt kurze Molekülstränge mit sperrigen Seitenketten. Der Kunststoff ist zäh und bruchresistent. Er schmilzt schon bei 98°C und ist nicht für Gegenstände geeignet, die mit heißem Wasser in Berührung kommen.

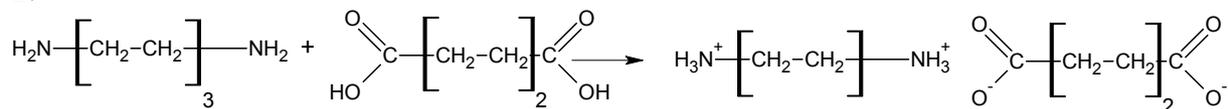
Abb. 20: Musterlösung zum Eingangstest „Kunststoffe im Sport“

Musterlösung zur Station „Chemie der Tennisschläger-Bespannung“

1.



2.



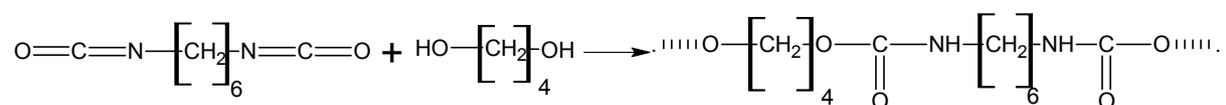
3. Thermoplaste sind aus linearen, nicht verzweigten Polymersträngen aufgebaut. Ihre Monomeren sind bifunktionell. Duroplaste und Elastomere bestehen aus einem „Netzwerk“. Die Polymerstränge sind dreidimensional miteinander verknüpft. Ihre Polymeren sind aus bifunktionellen und mehrfach funktionellen Monomeren aufgebaut. Die Monomeren des Nylons sind das Hexamethyldiamin und die Adipinsäure. Sie sind beide bifunktionell. Nylon ist ein Thermoplast.

Abb. 21: Musterlösung zur Station „Chemie der Tennisschläger-Bespannung“

Musterlösung zur Station „Chemie der Fußballbeschichtung“

1. Polyurethane kommen in vielen Varianten zum Einsatz. Sie bilden Schaumstoffe und Dämmstoffe, können aber auch in Kunststoffski oder bei der Beschichtung eines Fußballs verarbeitet werden. Es gibt eine elastische Faser, die häufig in Sport- und Badekleidung verwendet wird. Lycra ist ebenfalls eine Polyurethanfaser.

2. Ein Diisocyanat ist eine Verbindung, die als funktionelle Gruppe die NCO-Gruppe besitzt. Bei der Reaktion mit einem Alkohol kann sich eine Urethaneinheit (-NH-CO-O-) bilden. Reagieren Diisocyanate mit zweiwertigen Alkoholen, entsteht ein lineares Polyurethanmakromolekül, z. B.:



3. Bei der Polyaddition reagieren Monomere, die mindestens zwei funktionelle Gruppen besitzen zu Polymeren, dabei werden keine kleinen Moleküle wie bei der Polykondensation abgespalten.

4. Zur Herstellung von Polyurethan-Schaum wird dem Reaktionsgemisch etwas Wasser zugesetzt. Das Wasser reagiert mit dem Diisocyanat und bildet ein Amin. Dabei wird Kohlenstoffdioxid frei, das die Gasblasen im PU-Schaum verursacht.

Abb. 21(Fortsetzung): Musterlösung zur Station „Chemie der Fußballbeschichtung“

Musterlösung zur Station „Chemie des Tischtennisballs“

1. Cellulose ist ein Polykondensat, das bei der β -glykosidischen Verknüpfung von Glucose entsteht. Diese Reaktion ist technisch bisher noch nicht gelungen, weil nur zwei der fünf Hydroxylgruppen in die Kondensationschemie einbezogen werden.

2. Stärke ist ebenfalls ein Polykondensat der Glucose. Hier sind die Glucose-Bausteine aber α -glykosidisch verknüpft.

3. Bei polymeranalogen Reaktionen werden die Seitengruppen natürlicher Polymere, z. B. Cellulose oder Chitin, verändert. So kann ein Kunststoff mit neuen Eigenschaften entstehen.

4. Das angreifende elektrophile Teilchen bei der Nitrierung ist das NO_2^+ -Ion. Es wird bei der Reaktion der Schwefelsäure mit der Salpetersäure gebildet.



5. Nitrocellulose enthält pro Molekül ca. drei Nitrogruppen. In den Nitrogruppen ist Sauerstoff gebunden, der für eine Reaktion (Explosion oder Verbrennung) benötigt wird.

„Brennbare Stoffe“ sind Stoffe, die leicht flüchtig sind und gut brennen, z. B. Benzin oder Alkohol. „Brandfördernde Stoffe“ sind Stoffe, die brennbare Stoffe entzünden können, z. B. die Nitrocellulose.

6. Campher ist ein „Weichmacher“.

7. Campher ist ein bicyclisches Keton:

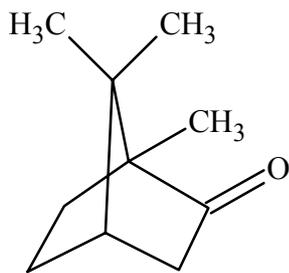


Abb. 21(Fortsetzung): Musterlösung zur Station „Chemie des Tischtennisballs“

Musterlösung zur Station „Chemie beim Skilauf“

1. Niederdruck-Polyethen wird mit Hilfe metallorganischer Katalysatoren (Aluminiumtrialkyl/Titantetrachlorid) aus Ethen nach dem Polyinsertionsmechanismus hergestellt. Es besteht aus linearen unverzweigten Makromolekülen.
Hochdruck-Polyethen wird durch radikalische Polymerisation von Ethen hergestellt. Die Polymerstränge sind teilweise verzweigt.
2. Lipophil bedeutet Wasser abstoßend (Gegenteil von hydrophil).

Abb. 21(Fortsetzung): Musterlösung zur Station „Chemie beim Skilauf“

Musterlösung zur Station „Chemie für Fahrradrahmen“

1. Die industrielle Fertigung von Glasfasern erfolgt schon seit 1910. Glasfasern besitzen eine hohe Festigkeit und ein hohes spezifisches Gewicht im Vergleich zu Carbon- und Aramidfasern. Im Sport werden sie vor allem wegen ihrer hohen Bruchdehnung in Stabhochsprungstäben eingesetzt.
2. Durch Verdampfen oder Laser-Beschuss von Graphit können Nanoröhrchen hergestellt werden. Ein Kohlenstoffnanoröhrchen ist ein Gitter aus Kohlenstoffatomen mit sechseckigen Maschen, das zu einer Röhre aufgerollt ist. Nanoröhrchen gelten als wahre Zauberkünstler unter den Werkstoffen. Sie sind einerseits zwanzigmal so zugfest wie Stahl und andererseits enorm elastisch und flexibel. Sie eignen sich für Tennisschläger und Automobilkarosserien. Probleme gibt es zurzeit noch mit der Einbettung der Röhrchen in eine feste Kunststoffmatrix.
3. PAN (Polyacrylnitril) wird aus Acrylnitril ($\text{H}_2\text{C}=\text{CHCN}$) durch radikalische Polymerisation hergestellt.
4. Polyacrylnitril ist ein Kunststoff, der erst bei ca. 250°C schmilzt. Er besitzt hohe Festigkeit und hervorragende Licht- und Wetterbeständigkeit. Trotz dieser günstigen Eigenschaften konnte man das Polymer lange Zeit nicht verarbeiten. Erst als man erkannte, dass PAN sich in N,N-Dimethylformamid löst, wurde ein Nassspinnverfahren entwickelt, um PAN-Fasern (Orlon[®], Dralon[®]) herzustellen.

Abb. 21(Fortsetzung): Musterlösung zur Station „Carbonfasern für Fahrradrahmen“

Musterlösung zur Station „Chemie für Faserverbundmaterialien“

1. Aramid ist ein flüssigkristallines (s. Fußnote 12) Polyamid, das durch Polykondensation von einem Diamin mit einer bifunktionellen Carbonsäure hergestellt wird. Glas ist ein Silikat, das durch Schmelzen von Siliziumdioxid (Sand) und verschiedenen Beimengungen hergestellt wird.

2. Epoxide sind heterocyclische Dreiringe, die ein Sauerstoffatom enthalten. Das einfachste Epoxid ist Ethenoxid.

3. Epoxidharze entstehen, wenn lineare Oligomere mit mindestens zwei Epoxidgruppen (molare Masse ca. 2000 g/mol) mit Diaminen vernetzt werden:

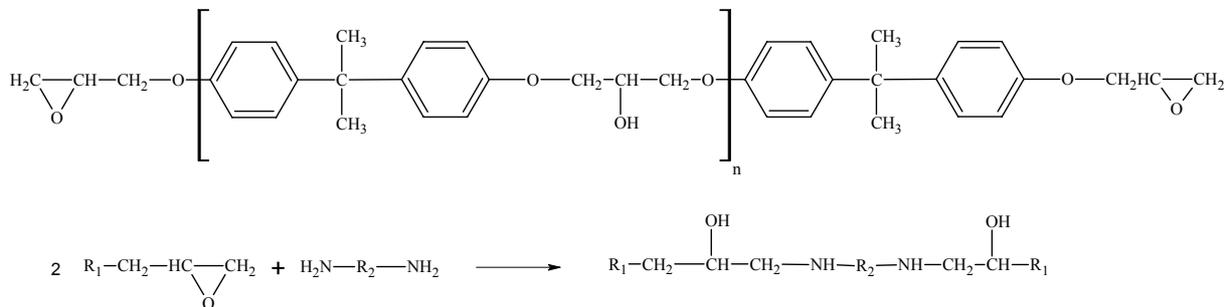


Abb. 21(Fortsetzung): Musterlösung zur Station „Faserverbundmaterialien“

Musterlösung zur Station „Membrane für atmungsaktive Sportkleidung“

1. Membrane sind dünne Trennwände. Semipermeable Membranen sind halbdurchlässig, d. h., sie sind nur für bestimmte Stoffe durchlässig, für andere dagegen undurchlässig. In der Biologie spielen semipermeable Membranen eine wichtige Rolle z. B. beim Wasserhaushalt der Zelle.

Abb. 21(Fortsetzung): Musterlösung zur Station „Membrane für atmungsaktive Sportkleidung“

5.2 Chemie-Arbeitsgemeinschaften

An einer Arbeitsgemeinschaft „Chemie und Sport“ nahmen 25 Schüler der Klasse 10 an 11 Nachmittagen (jeweils 90 Minuten) teil.

Zuerst standen materialwissenschaftliche Aspekte auf dem Programm. Alte und moderne Sportgeräte wurden verglichen, wobei der technische Fortschritt deutlich wurde. Ausschnitte aus dem Video „Molekulare Schöpfung“ [62] wurden gezeigt.

- Früher waren Fußbälle aus Leder, heute sind sie zum Teil aus Polyurethan. Im Praktikum legten die Schüler einen alten Lederball und einen modernen PU-beschichteten Ball in Wasser und bestimmten die Gewichtszunahme. Des Weiteren stellten sie einen PU-Schaum her (Versuch 23), um ein Gefühl für diesen Bereich der Kunststoffchemie zu erhalten (vgl. Kapitel 4.5.3).
- Tennisschläger wurden früher aus Holz hergestellt, danach aus Leichtmetall, heute sind sie aus Verbundwerkstoffen, insbes. aus Epoxidharzen, die mit Glas-, Aramid-, oder Kohlenstofffasern gefüllt sind (vgl. Kapitel 4.5.6) Im Praktikum stellten die Schüler Kohlenstofffasern her (Versuch 27). Außerdem arbeiteten sie Glasfasern in ein Epoxid-Zweikomponenten-Harz ein (Versuch 28).
- Die ersten Tennisschläger waren mit Darm bespannt, heute verwendet man viel reißfestere Polyamidfäden (vgl. Kapitel 4.5.4). Es bot sich also an, die Schüler selbst Polyamid synthetisieren zu lassen (Versuche 24 und 25).
- Bis vor kurzem war es üblich, dass Hochleistungsschwimmer vor dem Wettkampf zum Rasiermesser griffen, um dann dank einer glatten Haut als erste ins Ziel zu kommen. Heute tragen sie Ganzkörper-Schwimmanzüge, deren Oberfläche der einer Hai-Haut ähnelt (vgl. Kapitel 4.5.8). Die Betrachtung des Materials unter der Lupe war für die Schüler sehr spannend.
- Jogging bei Wind und Regen ist auch für die Kleidung eine Herausforderung. Einerseits muss sie den verdampfenden Schweiß nach außen leiten, damit kein Wärmestau entsteht, und den flüssigen Schweiß aufsaugen, damit der Körper des Sportlers trocken bleibt und er sich wohl fühlt. Andererseits muss sie den Aktiven vor Wind schützen, um eine Unterkühlung zu vermeiden, und Regentropfen abstoßen, damit die Kleidung nicht schwer wird und kein Nässegefühl entsteht. Die Schüler untersuchten die neuen Materialien für Sportkleidung (Goretex[®], Sympatex[®]) auf ihr Verhalten gegenüber flüssigem und gasförmigem Wasser (vgl. Kapitel 4.5.7; Versuch 29).
- Celluloid, das Material für Tischtennisbälle (vgl. Kapitel 4.5.1), ist chemisch betrachtet eine mit Campher weichgemachte teilnitrierte Cellulose. Die Jugendlichen stellten diese nach und prüften ihre Brennbarkeit im Vergleich zu der eines Tischtennisballs (Versuch 22).
- Ski müssen gepflegt und manchmal repariert werden. Dies geschieht mit Hilfe von Wachs bzw. Polyethen, was die Schüler selbst ausprobierten (vgl. Kapitel 4.5.5; Versuch 26).

Der zweite Teil der Arbeitsgemeinschaft thematisierte die Energiebereitstellung im Körper (vgl. Kapitel 4.1.1), die beim Sport-Treiben in besonders hohem Maße erfolgen muss.

- Zunächst wurde den Teilnehmern verdeutlicht, dass bei der Verbrennung von Nahrung Energie frei wird. Dies gelang sehr eindrucksvoll, indem ein Gummibär bzw. Stückchen Würfelzucker (Nahrung) in eine Kaliumchlorat-Schmelze (Sauerstoff-Quelle) geworfen wurde (Versuch 1).
- Den Jugendlichen wurde mitgeteilt, dass die Energie im Körper zunächst durch Aufbau einer P-O-P-Bindung gespeichert wird (Adenosindiphosphat und Phosphat reagieren zu Adenosintriphosphat und Wasser) und bei Bedarf durch hydrolytische Spaltung der Bindung wieder frei gesetzt wird. Als die Schüler Phosphor(V)-oxid in Wasser gaben, überzeugten sie die heftige Reaktion und die Temperaturerhöhung davon, dass bei der Hydrolyse der Phosphor-Sauerstoff-Bindung Energie frei wird (Versuch 2).

In einem weiteren Projekt befassten sich 16 Schüler der 13. Klasse an zwei Tagen mit der Qualitativen und Quantitativen Analyse von Sportgetränken (vgl. Kapitel 4.2), die sich bei Jugendlichen zunehmender Beliebtheit erfreuen. Die Funktionen einiger Inhaltsstoffe der Getränke wurden erläutert, bevor die Jugendlichen Nachweisreaktionen auf Glukose, Vitamin C, E und B1 und das Mineral Natrium durchführten (Versuche 8-14) und den Vitamin C-Gehalt iodometrisch bestimmten (Versuch 10).

Der nächste Teil der AG wurde dem Thema Doping gewidmet (vgl. Kapitel 4.3). Der Begriff „anabole Steroide“ war den Jugendlichen geläufig, so dass sie, um eine Vorstellung von der chemischen Gestalt dieser Stoffe zu bekommen, das Grundgerüst nach einer Vorlage (s. Abbildung 22) bauen sollten.

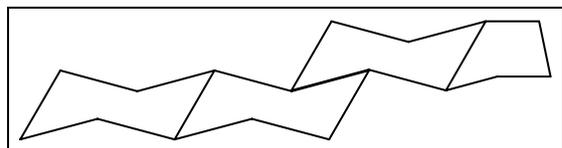


Abb. 22: Grundgerüst der Steroide

Zum Schluss wurde auf etwas eingegangen, das die Jugendlichen oft im Fernsehen oder Stadion sehen: Ein Tritt vor das Schienbein, der gefoulte Fußballer wälzt sich am Boden, Sanitäter eilen heran und sprühen eine Kältemischung (verschiedene gasförmige und/oder leicht flüchtige Alkane mit etwas Menthol) auf die lädierte Stelle, der Held steht auf und spielt weiter. Hier wird die Verdampfungsenthalpie ausgenutzt, um einer Schwellung vorzubeugen (vgl. Kapitel 4.4). Um die Verdampfungskälte selbst einmal zu erleben, gaben die Kursteilnehmer Pentan in eine Porzellanschale, bliesen darüber und maßen die Temperaturerniedrigung der Flüssigkeit. Des Weiteren tropften sie sich eine Lösung von Menthol in Pentan auf die Haut und spürten, wie die Stelle kalt wurde (Versuch 21).

5.3 Ferienakademie für hoch begabte Unterstufenschüler

Die Kinder- und Jugendakademie Südhessen e. V. veranstaltet seit sechs Jahren Förderprogramme für hoch begabte Kinder und Jugendliche. Besonders bewährt haben sich dabei Kurse mit fächerübergreifendem Charakter bzw. Kombinationen von sehr unterschiedlichen Teildisziplinen [69]. In den Herbstferien 2004 wurde u. a. ein Kurs „Chemie und Sport“ angeboten [13]. Über dessen Verlauf im Folgenden berichtet wird:

Der Kurs begann mit einem Brainstorming über Inhaltstoffe von Nahrungsmittel und deren Funktionen. Erfahrungen der Kinder mit Sportgetränken wurden gesammelt. Danach wurden in der Sporthalle einige Laufspiele (Kettenfangen, Paarfangen) und ein Dauerlauf (5 Runden) durchgeführt. Zur „Belohnung“ gab es Sportgetränke. Deren Inhaltstoffe wurden von den Etiketten abgelesen und in Hinblick auf ihre Funktion im Sport erläutert. Abschließend folgten Experimente zum qualitativen Nachweis der Mineralien sowie der Vitamine C, B1 und B2 (vgl. Kapitel 4.2; Versuche 9, 12 und 13).

Der zweite Tag begann mit einem Fußballspiel inklusive Siebenmeter-Schießen mit einem normalen und einem schweren Ball. Offensichtlich ist es mit einem leichten Ball einfacher, in den oberen Torwinkel zu treffen, als mit einem schweren. Ein kurzer Ausschnitt aus dem Film „Das Wunder von Bern“ wurde gezeigt. Die Kinder erkannten, dass der Ball bei dem damaligen Regenwetter nass und schwer geworden war, was der kraftbetont spielenden deutschen Nationalmannschaft sehr entgegen kam. Heutige Fußbälle haben einen Kunststoffüberzug aus Polyurethan, der die Wasseraufnahme verhindert, so dass der Ball immer gleich schwer bleibt. Diese Erläuterung bildete den Brückenschlag zur Herstellung eines Polyurethanschaumes (Versuch 23). Da der Kunststoff auch Teil der Laufsohlen von Sportschuhen ist, wurden solche abschließend zu diesem Teil des Kurses vergleichend betrachtet (vgl. Kapitel 4.5.3).

Als ein molekularer Fußball wurde den Kindern die Kohlenstoff-Modifikation C_{60} vorgestellt, die sie als Modell bauen durften.

Langstreckenläufe und Sprints und die Frage, bei welcher der beiden Laufarten man „erschöpfter“ ist, leiteten zum Thema aerobe bzw. anaerobe Energiebereitstellung im Körper über (vgl. Kapitel 4.1.1). Bei beiden Energiebereitstellungsformen werden Kohlenhydrate (Zucker) verbrannt, allerdings zu unterschiedlichen Produkten. Ein Experiment, in dem Zuckerstückchen in eine Kaliumchlorat-Schmelze geworfen wurden und dort heftig entflammten, demonstrierte auf überzeugende Weise, wie viel Energie im Zucker steckt (Versuch 1). Die Funktion des Kreatins bei der Energiebereitstellung im Körper wurde noch kurz erläutert, wonach der Stoff in Nahrungsergänzungsmitteln qualitativ nachgewiesen wurde (vgl. Kapitel 4.2.8; Versuch 19).

Sehr zur Überraschung und Belustigung der Kinder ging der Tischtennisball, mit dem sie zuvor noch gespielt hatten, beim Erhitzen in einer Stichflamme auf. Neugierig geworden, befassten sich die hoch Begabten anschließend mit der Chemie des Celluloids[®]. Dabei durfte auch die Herstellung und Entzündung von Schießbaumwolle nicht fehlen (vgl. 4.5.1; Versuch 22).

Nun war Schwitzen angesagt: 5 Runden Dauerlauf in einem wasserfesten Regenmantel mit Kapuze. Danach wurde über die Vorteile moderner Funktionskleidung diskutiert und Versuche zur Wasserdurchlässigkeit der Hightech-Membran Sympatex[®] durchgeführt (vgl. Kapitel 4.5.7; Versuch 29).

Am vierten Tag standen Wettläufe auf dem Programm (Sprints), und es wurde die Versuchung thematisiert, mit Hilfe von Dopingmitteln den Sieg zu erringen, vor allem wenn es um viel Ruhm und Geld geht (vgl. Kapitel 4.3). Verschiedene Dopingsubstanzen, beispielsweise anabole Steroide, und ihre Folgen sowie ethische Gesichtspunkte des Dopings wurden besprochen. Zum Abschluss wurde ein „Dopingsünder-Suchspiel“ durchgeführt, bei dem eine „künstliche Urinprobe“ auf ein 17-Ketosteroid analysiert wurde (Versuch 20).

Am letzten Tag lernten die Kursteilnehmer unterschiedliche Arten von Tennisschlägern kennen. Zunächst sollten sie verschiedene Schläger in die Hand nehmen und nach ihrem Alter sortieren. Die neueren Schläger waren signifikant leichter als die älteren und dennoch größer, dank moderner Kunststoffe wie Epoxid/Faser-Verbundwerkstoffen und Polyamid, die anschließend in Modellexperimenten hergestellt wurden (vgl. Kapitel 4.5.4 und 4.5.6; Versuche 24, 25, 27 und 28).

Der letzte Themenblock widmete sich dem Ski-Sport (vgl. Kapitel 4.5.5). Die Kinder wussten bereits, dass schnelles Fahren u. a. auch vom Belag der Skier abhängt. Deshalb bekam jeder Schüler ein Ski-Stück und konnte den „Service-Mann“ spielen: Altes Skiwachs mit einem geeigneten Lösungsmittel ablösen und neues Wachs mit Hilfe eines Bügeleisens auftragen (Versuch 26).

Zum Abschluss des Kurses fand eine Präsentation der Ergebnisse vor Eltern, Lehrern, Freunden, Sponsoren und sonstigen Interessenten (inklusive der lokalen Presse) sowie eine Evaluation statt, bei welcher der Kurs als in jeder Beziehung gelungen bezeichnet wurde.



Foto 8: Die Abschlusspräsentation



Foto 9: Poster auf der Abschlusspräsentation

5.4 Biochemie-Vorlesung für Studenten

In einer Biochemie-Vorlesung für fortgeschrittene Studenten nimmt die Chemie des menschlichen Stoffwechsels und der Nahrungsinhaltstoffe einen wesentlichen Platz ein. Einzelthemen sind u. a. „aerober und anaerober Glukose-Abbau“, „Auf- und Abbau von Fetten“, „Atmung“, „ATD/ADP“, „Kreatin“, „Vitamine“ und „Hormone“. Diese Schlagworte prägen auch das Thema „Chemie und Sport“ (vgl. Kapitel 4.1, 4.2 und 4.3), so dass es sich lohnt, der Vorlesung durch Integration dieses Themas eine besondere Praxis- und Lebensnähe zu geben. Immerhin spielt der Sport auch im Leben der meisten Studenten eine große Rolle.

Seit dem Sommersemester 2004 ist ein 90minütiger Exkurs „Chemie und Sport“ fester Bestandteil der zweisemesterwochenstündigen Biochemie-Vorlesung an der Fachhochschule Darmstadt. Er wurde bei der Evaluation als der beste Teil der Lehrveranstaltung bezeichnet.

6 Zusammenfassung

Bei verschiedenen Lehrerfortbildungen, bei denen ich mitarbeitete, erklärten mir Chemiekollegen, dass die Schüler eine große Akzeptanz für Themen zeigen, die einen Bezug zum Sport haben. Umgekehrt steige das Interesse bei der Behandlung theoretischer Grundlagen im Sportunterricht, wenn der Zusammenhang mit dem Gelernten aus dem Chemieunterricht thematisiert werden kann. Darum wurde in dieser Arbeit eine Vielzahl von kleineren und größeren Modulen für einen fächerverbindenden Chemie/Sport-Unterricht erarbeitet, die sich im Allgemeinen auf Experimente stützen.

Das Themenangebot in Chemie wird erweitert und auf Erfahrungen aus dem Sport eingegangen. Es werden motivierende Vorschläge für einen Chemieunterricht mit Alltagsbezug vorgestellt.

Themenschwerpunkte sind „Stoffwechsel beim Sporttreiben“, Inhaltstoffe von Sportgetränken“, „Doping“ sowie „Kunststoffe im Sport“.

Die Module lassen sich methodisch vielseitig in den Regelunterricht der Einzelfächer Chemie und Sport integrieren, aber selbstverständlich auch in Arbeitsgemeinschaften oder Projektwochen in jeder gewünschten Kombination durchführen.

Die Akzeptanz bei den Schülern ist ausgesprochen hoch. Sie erleben die Chemie in einem sinnstiftenden Kontext, denn der Sport spielt eine nicht unwesentliche Rolle in ihrem Leben.

Fächerverbinder Chemie/Sport-Unterricht eröffnet also die Möglichkeit, die Akzeptanz der Chemie in unserer Gesellschaft zu verbessern und nachhaltiges Interesse bei jungen Menschen für diese Naturwissenschaft zu wecken.

7 Versuchsanleitungen

Versuch 1

Zucker-Verbrennung in einer Kaliumchlorat-Schmelze

Geräte:

Stativ, schwer schmelzbares großes (2000 x 30 mm) Reagenzglas

Chemikalien:

Kaliumchlorat (O, brandfördernd), Würfelzucker

Sicherheitshinweis:

Der Versuch muss hinter einer Schutzscheibe unter dem Abzug oder im Freien durchgeführt werden.

Durchführung:

1-2 g Kaliumchlorat werden im Reagenzglas über dem Brenner geschmolzen. In die Schmelze wirft man ein kleines (!) Stück Würfelzucker.

Vorsicht, bei der Reaktion kann Kaliumchlorat von dem entstehenden Kohlendioxid und Wasser mitgerissen und aus dem Reagenzglas geschleudert werden.

Beobachtung:

Das Gummibärchen verbrennt unter intensivem Aufglühen, tanzt auf der Salzschmelze und erzeugt ein pfeifendes Geräusch.

Versuch 2

Hydrolyse von Phosphor(V)-oxid

Geräte:

Becherglas (50 ml, hohe Form), Spatel, Glasstab, Thermometer

Chemikalien:

Phosphor(V)-oxid (C, ätzend), Universalindikator-Lösung

Durchführung:

Ein Becherglas wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt und tropfenweise Universalindikator bis zur kräftigen Färbung zugesetzt.

Die Temperatur wird gemessen. Anschließend wird eine reichliche Spatelspitze Phosphor(V)-oxid zugeben. Nach dem Abklingen der Reaktion wird mit dem Glasstab umgerührt und erneut die Temperatur gemessen.

Beobachtung:

Bei Zugabe von ca. 3 g Phosphor-(V)-oxid zu 120 ml Wasser erhitzt sich die Lösung erkennbar ($T_{\text{(vorher)}} = 21^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{(nachher)}} = 26^{\circ}\text{C}$). Der aufsteigende Wasserdampf reist Phosphor-(V)-oxid mit, unter zischenden Geräuschen bildet sich weißer Rauch. Der Universalindikator wird rot.

Versuch 3

Quantitative Laktat-Bestimmung mit Teststäbchen

Geräte:

Laktat-Messgerät Accusport[®] von Roche Diagnostics (kann in der Apotheke ausgeliehen werden), Softclix Pro Lanzetten[®]

Anmerkung:

Die Durchführung des Tests darf nur in Gegenwart eines Arztes, z. B. des Schularztes, erfolgen und erfordert das schriftliche Einverständnis der Erziehungsberechtigten bzw. der volljährigen Schüler. Es ist ratsam, den Schülern das Messgerät und die Lanzetten zu Beginn der Unterrichtsstunde vorzuführen, um Ängste vor der Blutentnahme und einer Infektion abzubauen.

Durchführung:

Die Messung verläuft ähnlich wie die des Blutzuckers von Diabetikern: Ein Tropfen Blut wird auf ein Messstäbchen getropft und dieses anschließend in das Messgerät geschoben. Nach einer Minute zeigt das Gerät den Laktat-Wert in mmol/l an.

Hinweis:

Die Nadel ist so konstruiert, dass nach jedem Stich eine neue Nadel eingesetzt werden muss. Das Wechseln der Nadel ist unproblematisch, weil sie vor und nach der Funktion von einem Plastikmantel umgeben ist, so dass man sich nicht ungewollt stechen kann. Es ist ratsam, die verbrauchten Nadeln in einer leeren Dose zu sammeln. Sie kann anschließend verschlossen und im Müll entsorgt werden.

Versuch 4

Qualitativer Laktat-Nachweis als Eisenlaktat

Geräte:

Reagenzgläser

Chemikalien:

Eisen(III)-chlorid-Lösung ($w = 10\%$; Xn, gesundheitsschädlich), Milchsäure ($w = 90\%$; C, ätzend), dest. Wasser

Durchführung:

2 Tropfen Eisen(III)-chlorid-Lösung werden in ein Reagenzglas gegeben und solange mit Wasser verdünnt, bis kaum noch eine Gelbfärbung zu erkennen ist. Die Lösung wird auf zwei Reagenzgläser verteilt, die dann vor einen weißen Hintergrund gestellt werden. Abschließend werden in das eine Glas 2-3 Tropfen Milchsäure gegeben.

Beobachtung:

Eine zeisiggrüne Färbung (Bildung eines Eisen(III)-Laktat-Komplexes) tritt auf.

Versuch 5

Modellversuch zur respiratorischen Kompensation einer metabolischen Acidose

Geräte:

Magnetrührer, Rührfisch, 2 Bechergläser (250 ml), pH-Messgerät

Chemikalien:

Natriumhydrogencarbonat, Milchsäure ($w = 1\%$), Salzsäure ($c = 0,1\text{ mol/l}$; C, ätzend)

Durchführung:

2,5 g Natriumhydrogencarbonat werden in einem Becherglas in 100 ml Wasser gelöst. Der pH-Wert der Lösung wird mit einem pH-Meter ermittelt. (gemessener Wert: pH = 8,2).

Ein Modell-Blutpuffer (Hydrogencarbonat/Kohlensäure) wird hergestellt, in dem zu der magnetisch leicht gerührten Lösung 18 ml 0,1 mol/l Salzsäure und danach tropfenweise weitere Säure gegeben werden, bis der pH-Wert 7,4 beträgt.

Zur Modellierung einer metabolischen Acidose werden dieser Pufferlösung 10 ml Milchsäure zugesetzt, und der pH-Wert der Reaktionsmischung wird gemessen. (gemessener Wert: pH = 7,2).

Zu Modellierung der respiratorischen Kompensation der Acidose wird 1-2 Minuten kräftig gerührt, wobei Gasblasen (CO_2) ausgetrieben werden. Danach wird der pH-Wert erneut gemessen. (gemessener Wert: Nach 2,5 Minuten ist der pH-Wert auf 7,4 gestiegen. Bei längerem Umrühren steigt er bis auf 7,6.)

Versuch 6

Lösungsverhalten von Harnsäure im basischen bzw. sauren Medium

Geräte:

Reagenzglas

Chemikalien:

Harnsäure, Natronlauge ($c = 1 \text{ mol/l}$; C, ätzend), Salzsäure ($c = 1 \text{ mol/l}$; C, ätzend), dest. Wasser

Durchführung:

Eine Spatelspitze Harnsäure wird in ein Reagenzglas mit 2-3 ml Wasser gegeben. Es wird soviel Natronlauge zugetropft, bis der Feststoff in Lösung gegangen ist (gelegentlich schütteln). Dann wird überschüssige Salzsäure zugetropft, wobei die Harnsäure wieder ausfällt.

Erläuterung:

Harnsäure bildet in alkalischen Lösungen lösliche Salze (Urate). In neutraler und saurer Lösung ist Harnsäure schwer löslich.

Versuch 7

Zitrone, ein basenüberschüssiges Lebensmittel

Geräte, Material:

Zitrone, Porzellantiegel, Brenner, Dreifuß, Tondreieck, Tiegelzange, pH-Papier, Glasstab

Durchführung:

Saft und Fruchtfleisch von einer halben Zitrone werden in einem Porzellantiegel gegeben. Der pH-Wert wird gemessen. Anschließend wird der Porzellantiegel im Tondreieck mit dem Bunsenbrenner erhitzt und der Inhalt bis zur Trockne eingedampft. Der trockene Rückstand wird noch ca. 5 Minuten erhitzt und nach dem Abkühlen mit wenig Wasser gelöst. Eine pH-Messung dieser Lösung wird durchgeführt.

Beobachtung:

Der pH-Wert des Zitronensafts beträgt 2. Nach Lösen des eingedampften Rückstandes beträgt der pH-Wert 11.

Versuch 8

Glukose-Nachweise in Sportgetränken

Geräte:

Reagenzgläser, Reagenzglasklammer, Brenner, Messkolben (1000 ml), Waage, Bechergläser (400 ml)

Chemikalien:

Fehling I-Lösung (7 g Kupfersulfat-Pentahydrat in 100 ml Wasser lösen), *Fehling II*-Lösung (35 g Kaliumtartrat und 10 g Natriumhydroxid (C, ätzend) in 100 ml Wasser lösen), Silbernitrat-Lösung ($c = 0,1 \text{ mol/l}$), Natronlauge ($w = 10 \%$; C, ätzend), Ammoniak-Lösung ($w = 10 \%$; Xi, reizend), Methylenblau-Lösung ($w = 1 \%$), dest. Wasser, Sportgetränk Isostar[®] oder Zell-Tech[®]

Durchführung:

Fehling-Probe

Ein Gemisch aus je 5 ml Fehling I- und Fehling II-Lösung wird mit 1 ml des Sportgetränks (in der angegebenen Konzentration) über dem Bunsenbrenner erhitzt (Vorsicht: Gefahr von Siedeverzügen!), wobei rotes Kupfer(I)-oxid ausfällt.

Tollens-Probe

In einem Reagenzglas werden etwa 5 ml Silbernitrat-Lösung mit 0,5 ml Natronlauge und dann so lange mit Ammoniak-Lösung versetzt, bis sich zunächst gebildete Niederschlag gerade wieder aufgelöst hat. Zu dieser Lösung gibt man etwa 1 ml Sportgetränk. Beim Erhitzen bildet sich ein Silberspiegel.

Sicherheitshinweis:

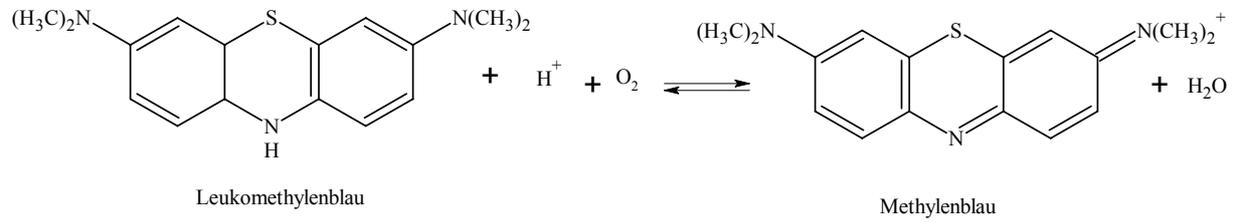
Bei Schülerversuchen sollte nur im Wasserbad und nicht direkt mit dem Brenner erhitzt werden.

Als "Blue Bottle"

10 g Sportgetränk werden in 150 ml Wasser gelöst. Zu der Lösung wird eine Lösung von 10 g Natriumhydroxid in 150 ml Wasser mit 1 ml Methylenblau-Lösung gegeben. Beide Lösungen werden in einen 1-l-Messkolben gefüllt, der verschlossen wird. Das Gefäß wird ruhig stehen gelassen, bis sich die Lösung entfärbt hat. Danach wird der Kolben geschüttelt und die Lösung blau. Nach dem Stehenlassen entfärbt sich die Lösung wieder. Es wird erneut geschüttelt etc.

Sachinformation zum Blue-Bottle-Versuch:

Methylenblau, ein Phenothiazinfarbstoff, wird von Reduktionsmitteln (hier Glukose) in eine farblose Leukoform umgewandelt. Ein Oxidationsmittel (hier der Sauerstoff in der Luft im Kolben) führt diese in den blauen Ausgangsstoff zurück (vgl. [65]):



Versuch 9

Qualitativer Vitamin C-Nachweis in Sportgetränken

Geräte:

Große Reagenzgläser

Chemikalien:

Sportgetränk Isostar[®] oder Zell-Tech[®], Tillmanns-Reagenz-Lösung (20 mg Tillmanns-Reagenz (2,6-Dichlorphenol-indophenol-Natriumsalz-Dihydrat) werden in 50 ml dest Wasser gelöst) (Die Lösung muss frisch angesetzt werden, denn sie ist nicht haltbar.)

Durchführung:

100 ml Wasser werden mit 1 ml verdünnter Essigsäure und 10 ml Tillmanns-Reagenz-Lösung versetzt (Blindprobe). In ein weiteres Reagenzglas werden 2 ml des Sportdrinks gegeben.

Anmerkung:

Der Versuch kann auch mit 100ml Wasser und einem kleinen Stück Paprika durchgeführt werden zu dem die angesäuerte Tillmanns-Reagenzlösung gegeben wird.

Beobachtung:

Bei Vorhandensein von Vitamin C wird die violette Lösung entfärbt.

Versuch 10

Iodometrische Vitamin C-Bestimmung in Sportgetränken

Geräte:

Waage (Mindestgenauigkeit $\pm 0,1$ g), Spatel, Erlenmeyerkolben (50 ml), Tuberkulinspritze (1 ml) mit 0,01-mL-Teilung und abgeschnittener Kanüle Nr. 20 (erhältlich in der Apotheke)

Chemikalien:

Sportgetränk Isostar[®] (118 mg Vitamin C in 100 g Pulver) oder Zelltech[®] (135 mg Vitamin C in 100 g Pulver), Kaliumiodat-Lösung ($c = 0,0166$ mol/l), Schwefelsäure ($w = 25$ %; C, ätzend), Kaliumiodid-Lösung, Zinkiodid/Stärke-Lösung, dest. Wasser

Durchführung:

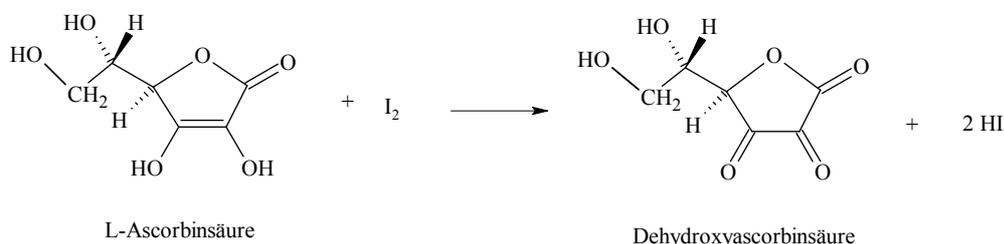
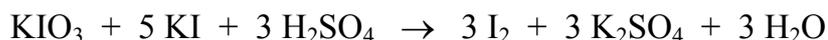
Ca. 5 g Sportgetränk-Pulver werden in einem Erlenmeyerkolben genau eingewogen und mit etwa 25 ml Wasser gelöst. Es werden 20 Tropfen Kaliumiodid-Lösung, 10 Tropfen Schwefelsäure und 5 Tropfen Zinkiodid/Stärke-Lösung zugegeben. Dann wird unter Schwenken des Kolbens mit der Kaliumiodat-Maßlösung aus der Tuberkulinspritze bis zum Farbumschlag nach tiefblau titriert.

Auswertung:

1 ml Kaliumiodat-Lösung ($c = 0,0166$ mol/L) zeigt 8,806 mg Vitamin C an.

Sachinformationen:

Der Ascorbinsäuregehalt eines Sportgetränks kann iodometrisch bestimmt werden. Dazu werden der Probelösung Schwefelsäure und Kaliumiodid zugesetzt, bevor mit einer Kaliumiodat-Maßlösung titriert wird. Im sauren Medium synproportionieren Iodid und Iodat zu Iod, welches von der Ascorbinsäure zu Iodid reduziert wird:



Sobald die Ascorbinsäure vollständig verbraucht ist, bleibt Iod übrig, dessen charakteristische Farbreaktion mit Stärke den Titrationsendpunkt gut erkennbar macht (Blaufärbung).

Die hier beschriebene Titration im Halbmikromaßstab unter Verwendung einer Tuberkulinspritze als „Bürette“ ist sicherer, umweltfreundlicher und schneller durchführbar als eine Analyse im Makromaßstab. Für schulische Zwecke ist sie ausreichend genau, denn sie liefert Ergebnisse, die nicht mehr als 10 % vom Sollwert (Herstellerangabe) abweichen.

Versuch 11

Vitamin E-Nachweis in Sportgetränken

Geräte:

Reagenzglas (schwer schmelzbar), beheizbarer Magnetprüher, Becherglas (600 ml, weite Form)

Chemikalien:

Vitamin-E-Kapseln, Ethanol (F, leicht entzündlich), Salpetersäure ($w = 65\%$; C, ätzend)

Durchführung:

Eine Vitamin E Kapsel wird in 10 ml Ethanol aufgelöst und mit 2 ml Salpetersäure versetzt. Die Lösung wird in einem siedenden Wasserbad (Becherglas, Heizplatte) erhitzt.

Beobachtung:

Bei Vorhandensein von Vitamin E wird die Lösung rot.

Versuch 12

Nachweise der Vitamine B₁ und B₂ in Sportgetränken

Geräte:

Reagenzglas, UV-Lampe (365nm)

Chemikalien:

Kaliumhexacyanoferrat(III)-Lösung ($w = 1\%$), Natronlauge ($w = 20\%$; C, ätzend), Natriumdithionit-Lösung ($w = 1\%$; Xn, gesundheitsschädlich), Vitamin B₁-haltiges Fitness-Getränk, z. B. Zell-Tech[®], Vitamin B₁-Kapsel

Durchführung:

Vitamin B₁-Nachweis

3 ml Kaliumhexacyanoferrat(III)-Lösung, 4 ml Natronlauge und 4 ml Fitness-Getränk werden in einem Reagenzglas gemischt. Nach ca. 5 Minuten wird die Lösung unter eine UV-Lampe gehalten. (Zu Vergleichszwecken wird anstelle des Fitness-Getränkes eine in Wasser aufgelöste Vitamin-B₁-Kapsel verwendet.) Die Vitamin-B₁-haltigen Lösungen zeigen intensiv blaue Fluoreszenz.

Vitamin B₂-Nachweis

Etwa 30 ml der Zell-Tech-Lösung werden im Reagenzglas mit einer Wellenlänge von 365 nm bestrahlt (abgedunkelter Raum). Dann wird die Lösung solange tropfenweise mit Natriumdithionit-Lösung versetzt, bis die Fluoreszenz verschwindet. Anschließend wird die Lösung geschüttelt, bis die gelb-grüne Fluoreszenz wieder eintritt. Dieser Vorgang kann mehrmals wiederholt werden.

Versuch 13

Natrium-Nachweis in Sportgetränken durch Flammenfärbung

Geräte:

Magnesiastäbchen, Brenner, Feuerzeug

Chemikalien:

Lithiumchlorid, Natriumchlorid, Kaliumchlorid, Magnesiumchlorid, Calciumchlorid, Kupferchlorid, Sportgetränke-Pulver z. B. Isostar[®]

Durchführung:

Verschiedene Salze (LiCl , NaCl , KCl , MgCl_2 , CaCl_2 , CuCl_2) werden mit einem Magnesiastäbchen aufgenommen und in die Brennerflamme gehalten. Zum Vergleich wird auch etwas Sportgetränkepulver in die Flamme gehalten.

Hinweis:

Der Brenner sollte schräg gestellt werden, damit er durch ggf. herabfallende Salze nicht verschmutzt wird.

Erklärung:

Isostar[®] enthält soviel Natrium, dass andere Flammenfarben überdeckt werden.

Versuch 14**Qualitativer Sauerstoffnachweis in Sportgetränken
(Glimmspanprobe)***Geräte:*

Holzspan, Feuerzeug, sauerstoffhaltiges Sportgetränk (ungeöffnet)

Durchführung:

Ein Holzspan wird angebrannt und wieder ausgepustet. Der glimmende Span wird in den Hals einer *frisch geöffneten* Sauerstoff-Wasserflasche gehalten, worauf er entflammt.

Versuch 15

Iodometrische Sauerstoff-Bestimmung in Sportgetränken

Geräte:

Glasstopfenflaschen (25 ml), Tropfpipetten, Messpipetten (5 ml), 1-ml-Tuberkulinspritzen mit 0,01-ml-Teilung (erhältlich in der Apotheke) und dünner Kanüle (Spitze abschneiden)

Chemikalien:

Tafelwasser Active-O₂-two[®] oder Oxyvit[®]

Reagenz I: 40g Mangan(II)-chlorid-Tetrahydrat (Xn, gesundheitsschädlich) werden in dest. Wasser gelöst und auf 100ml aufgefüllt.

Reagenz II: 18 g Natriumhydroxid (C, ätzend) und 30 g Kaliumiodid werden in dest. Wasser gelöst und auf 100 ml aufgefüllt.

Reagenz III: Zu 200 ml dest. Wasser werden vorsichtig unter Rühren 25 ml konz. Phosphorsäure (C, ätzend) und 25 ml konz. Schwefelsäure (C, ätzend) gegeben (Vorsicht: starke Erwärmung).

Reagenz IV: 4 g lösliche Stärke und 20 g Zinkchlorid werden in 100 ml siedendem Wasser gelöst. Nach Erkalten wird der Lösung eine Lösung aus 1 g Zinkfeilspänen und 2 g Iod in 10 ml Wasser zugesetzt. Die gesamte Lösung wird auf 1 l verdünnt und filtriert. *Hinweis:* Zinkiodidstärkelösung ist auch im Chemikalienhandel erhältlich.

Reagenz V: 12,5 ml 0,1 mol/l Natriumthiosulfat-Lösung, 0,2 g wasserfreies Natriumcarbonat und 0,5 ml Butanol (oder Pentanol), (beide F, leicht entzündlich) werden im Maßkolben mit dest. Wasser auf 100 ml aufgefüllt. *Hinweis:* Aufbewahrung in brauner Flasche.

Durchführung:

Eine Glasstopfenflasche wird randvoll mit dem zu untersuchenden sauerstoffhaltigen Wasser gefüllt. Anschließend werden nacheinander 5 Tropfen Reagenz I (Manganchlorid-Lösung) und 5 Tropfen Reagenz II (Kaliumiodid/Natronlauge) zugetropft. Der gebildete braune Niederschlag wird ca. 3 Minuten absitzen gelassen. Nun werden 10 Tropfen Reagenz III (Mischsäure) zugegeben. Der Niederschlag löst sich wieder auf (eventuell Schütteln). Danach werden 2-3 Tropfen Reagenz IV (Stärkelösung) zugesetzt und mit Reagenz V (Natriumthiosulfat-Lösung) titriert, bis die Blaufärbung wieder verschwindet.

Auswertung:

1 ml Natriumthiosulfat-Lösung ($c = 0,01 \text{ mol/l}$, Reagenz V) zeigt 0,08 mg O₂ an.



Foto 10: Mikrotitration zur Sauerstoffbestimmung nach Winkler

Versuch 16

Fotometrische Coffein-Bestimmung in Sportgetränken

Geräte und Materialien:

Waage (Mindestgenauigkeit $\pm 0,01$ g), Spatel, Messkolben, 5-ml-Pipetten, 1-ml-Pipette, Zentrifuge mit Zentrifugengläser aus Glas, LED-Photometer (z. B. Spectro 2 Aquanal[®]-plus von Riedel de Haen) mit Küvetten, Millimeterpapier

Chemikalien:

Energy-Drinks, z. B. Red Bull[®] Red Horse[®] oder Sitting Bull[®] (enthalten alle 300 mg Coffein/l), Coffein, Kaliumiodid-Iod-Lösung ($c_{\text{Iod}} = 0,05$ mol/l; Herstellung: 12,7 g Iod mit 25 g Kaliumiodid trocken mischen, durch tropfenweise Zugabe von Wasser lösen, Lösung mit Wasser auf ein Gesamtvolumen von 1 l auffüllen), Schwefelsäure ($w = 25$ %; C, ätzend), Methanol (F, leicht entzündlich, T, giftig), Natriumthiosulfat-Lösung ($w = 5$ %), dest. Wasser

Durchführung:

Eichung

Es werden wässrige Coffein-Lösungen mit den Konzentrationen 0 (= reines Wasser), 100, 200, 300, 400 und 500 mg Coffein/l hergestellt. Jede Lösung wird folgendermaßen behandelt: 5 ml werden in ein Zentrifugenglas pipettiert und mit 1 ml Kaliumiodid/Iod-Lösung sowie 1 ml Schwefelsäure versetzt. Nach 5 Minuten stehen lassen wird 10 Minuten zentrifugiert und der Überstand abdekantiert. Zum Rückstand (Coffeinperiodid) werden 10 ml Methanol gegeben. Mit der resultierenden Lösung (mit einem Glasstab etwas Rühren) wird eine Küvette gefüllt und in das Fotometer gestellt. (Bei Zweistrahlphotometern wird die Referenzküvette mit Wasser gefüllt.) Die Extinktion bei 480 nm wird gemessen und gegen die Konzentration aufgetragen. Durch die 6 Eichpunkte wird eine Ausgleichsgerade gelegt.

Konzentrationsbestimmung in einem Energy-Drink

5 ml Energy-Drink werden wie oben beschrieben behandelt und vermessen. Mit Hilfe der Eichgeraden wird die gemessene Extinktion einer Konzentration zugeordnet.

Aufbereitung der Versuchsreste:

Die iodhaltigen Versuchsreste werden mit Natriumthiosulfat-Lösung entfärbt.



Foto 11: Fotometrische Coffeinbestimmung

Versuch 17

Dünnschichtchromatografischer Glutamin-Nachweis

Geräte:

DC-Kammern mit Deckel, DC-Karten (Kieselgel Fertigfolie POLYGRAM[®] Sil G/UV₂₅₄, Bezug über die Firma Macherey-Nagel, Düren), Glaskapillaren, Föhn, Sprühflasche

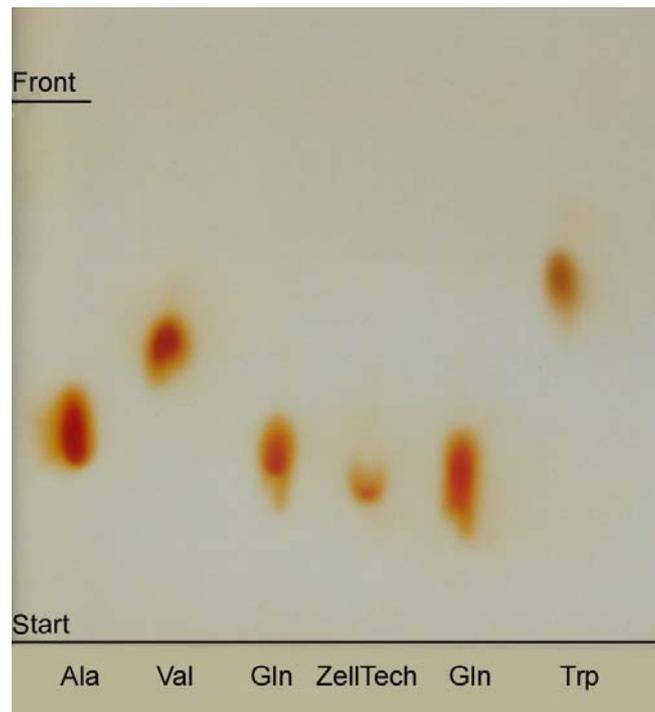
Chemikalien:

Eisessig (C, ätzend), Zell-Tech[®], aminosäurehaltige Referenz-Lösungen (Glutamin; Alanin; Testgemisch aus Alanin, Arginin, Glutamin, Tryptophan und Valin; Testgemisch aus Alanin, Arginin, Tryptophan und Valin; Testgemisch aus Arginin, Glutamin, Tryptophan und Valin,) *n*-Butanol, ethanolische Ninhydrin-Lösung ($w = 0,1 \%$; F, brennbar), dest. Wasser

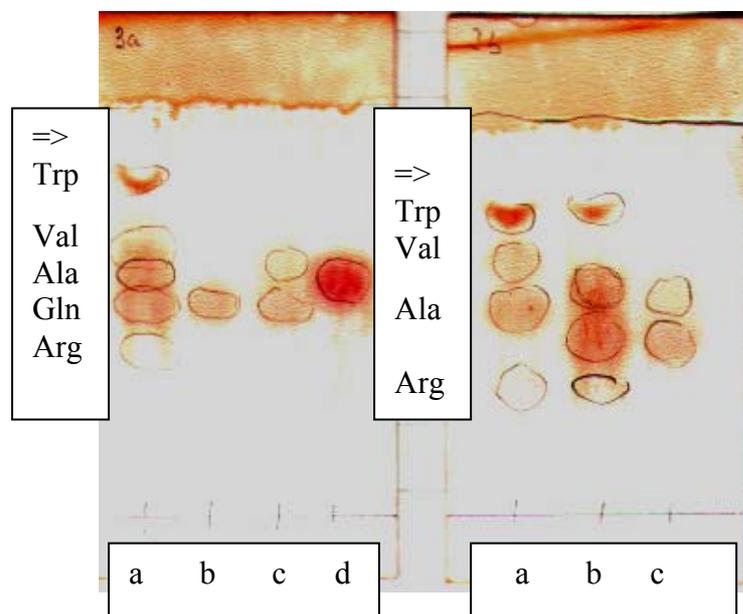
Durchführung:

Eine Zell-Tech[®]-Lösung sowie aminosäurehaltige Referenz-Lösungen werden mit einer Kapillare auf der Startlinie einer DC-Karte aufgetragen. Die Startpunkte lässt man trocknen. Eine DC-Kammer wird ca. einen halben Zentimeter hoch mit Laufmittel (*n*-Butanol : Eisessig : Wasser = 3 : 1 : 1; frisch bereitet, weil die Mischung bei längerer Lagerung seine Zusammensetzung ändert) gefüllt. Die DC-Karte wird hinein gestellt und die Kammer verschlossen. Nach etwa 60 Minuten wird die Karte entnommen und die Laufmittelfront markiert. Unter dem Abzug wird das Lösemittel mit einem Föhn verdampft. (Es darf kein Essigsäuregeruch mehr wahrgenommen werden.) Zur Sichtbarmachung der Substanzflecken wird die DC-Karte mit Ninhydrin-Lösung besprüht. Anschließend wird sie ca. 5 Minuten bei 100 °C im Trockenschrank getrocknet, worauf orangefarbene Flecke sichtbar werden.

Ergebnisse (Dünnschichtchromatogramme):



Alanin, Valin, Glutamin, Zell-Tech[®], Glutamin, Tryptophan



Linke Karte: a) Testgemisch aus Alanin, Arginin, Glutamin, Tryptophan und Valin;
b) Glutamin; c) Zell-Tech[®]; d) Alanin

Rechte Karte: a) Testgemisch aus Alanin, Arginin, Tryptophan und Valin;
b) Testgemisch aus Arginin, Alanin, Glutamin und Tryptophan; c) Zell-Tech[®]

Beobachtung: Zell-Tech zeigt eine Übereinstimmung, die der Laufstrecke von Glutamin entspricht. Eine weitere Übereinstimmung mit einer dem Alanin entsprechenden Laufstrecke ist erkennbar.

Versuch 18

Carnitin-Nachweis in einem Fatburner

Geräte:

Mörser, Pistill, Glastrichter, Reagenzgläser, Filterpapier

Chemikalien:

L-Carnitin (4-Trimethylamino-3-hydroxybutyrat), Super-Fat-Burner (kann über Vita LIFE Sport Products USA, Postfach 184, 6100 AD Echt Holland, sales@vitalife.com, www.vitalife.com, bezogen werden; 100 Kapseln kosten derzeit etwa 10 Euro), carnitinhaltiges Medikament, z. B. Biocarn[®] (kann in der Apotheke rezeptfrei gekauft werden), Schwefelsäure ($w = 10 \%$; C, ätzend), Ethanol ($w = 10 \%$), Reinecke-Salz-Lösung (1 g Reinecke-Salz in 100 ml Schwefelsäure ($w = 10 \%$) lösen), dest. Wasser

Durchführung:

Blindprobe

Eine Spatelspitze Carnitin wird in etwa 10 ml Wasser gelöst. Die Lösung wird mit 10 Tropfen Reinecke-Salz-Lösung versetzt. Es bildet sich ein rosa gefärbter Niederschlag. Dieser wird abfiltriert, nacheinander mit Wasser, Ethanol und Aceton gewaschen und bei 80 °C im Trockenschrank getrocknet. Der Schmelzpunkt liegt zwischen 147 und 150 °C.

Carnitin-Nachweis in einem Fat-Burner

Eine Tablette Super Fat Burner[®] wird zermörsert. Das Pulver wird in einem Reagenzglas mit 10 ml Ethanol geschüttelt. Unlösliche Bestandteile werden abfiltriert. Das Filtrat wird mit 5-6 Tropfen Reinecke-Salz-Lösung versetzt.

Carnitin-Nachweis in einem Herzmedikament (Zusatzversuch)

5 ml des Herzmedikamentes Biocarn[®] werden mit 5-6 Tropfen Reinecke-Salz-Lösung versetzt.

Hinweise:

Mit Biocarn[®] verläuft der Carnitin-Nachweis problemlos. Wegen der hohen Wirkstoffkonzentration in dem Medikament ist die Niederschlagbildung deutlich zu erkennen. Im Super Fat Burner[®] ist die Carnitin-Konzentration geringer, so dass sich beim Nachweis auch nur wenig Niederschlag bildet. Manchmal muss die Nachweismischung einen Tag stehen gelassen oder zentrifugiert werden, um den rosa Niederschlag besser zu erkennen. Auf eine Schmelzpunkt-Bestimmung kann im Unterricht verzichtet werden, zumal in den beiden Handelsprodukten keine weiteren Stoffe enthalten sind, die mit Reinecke-Salz schwerlösliche Verbindungen bilden.



Foto 12: Carnitinhaltige Präparate: Links ein Herzmedikament, rechts ein „Fatburner“ aus dem Bodybuildingsport

Versuch 19

Nachweis von Kreatin in Sport-Getränken

Geräte:

Reagenzglasständer, zwei große Reagenzgläser, zwei Tropfpipetten

Chemikalien:

Konz. Salzsäure ($c = 10 \text{ mol/l}$), 16%ige Natronlauge ($c = 4 \text{ mol/l}$), Pikrinsäure-Lösung ($c = 1 \text{ mol/l}$)

Durchführung:

Einige Milliliter eines kreatinhaltigen Sportgetränks werden in einem Reagenzglas mit fünf Tropfen verd. Salzsäure versetzt und wenige Minuten stehen gelassen. Anschließend werden 5 ml Pikrinsäurelösung ($c = 0,1 \text{ mol/l}$) und solange tropfenweise 15%ige Natronlauge-Lösung zugegeben, bis die Lösung alkalisch ist. Nach NaOH-Zugabe wird die Lösung gut geschüttelt und ca. 8 Minuten im Wasserbad auf ca. 70° erwärmt.

Beobachtung und Deutung:

Nach 20 Minuten ist die Lösung tief orange. Die Farbe wird durch den Meisenheimer-Komplex hervorgerufen, den Kreatinin in alkalischer Lösung mit Pikrinsäure bildet.

Hinweis:

Die Pikrinsäure-Lösung ist leicht gelb gefärbt. Für die Demonstration des Pikrinsäure-Kreatinin-Komplexes ist es ratsam, ein Reagenzglas der Pikrinsäure-Lösung als Vergleichslösung parat zu haben. Hält man beide Reagenzgläser nebeneinander, kann man die Zunahme der Farbintensität deutlich erkennen. Da der Komplex nicht beständig ist, verschwindet die tief orange Farbe nach längerem Stehen, und die schwach gelbe Farbe der Pikrinsäure kehrt zurück.

Da der Kreatingehalt in dem verwendeten Sportgetränken teilweise sehr niedrig ist, empfiehlt sich eine Vergleichsprobe mit einer Kreatin-Lösung.

Versuch 20

„Doping-Sünder“-Suchspiel

Geräte:

Reagenzgläser, Reagenzglasständer

Chemikalien:

Dehydroepiandrosteron- oder Aceton-Lösung (50 mg in 100 ml Ethanol; F, leichtentzündlich) (s. Anmerkung), 1,3-Dinitrobenzol-Lösung (2 g 1,3-Dinitrobenzol in 100 ml Ethanol), Kalilauge ($c = 3 \text{ mol/l}$; C, ätzend)

Anmerkungen:

Da Dehydroepiandrosteron teuer ist und nur mit einer Eigenverbleiberklärung erhältlich ist, kann man eine andere C-H-acide Verbindung, z. B. Aceton verwenden.

Um die Urinproben zu modellieren, empfiehlt sich die Anfärbung der Proben mit verdünnter Eisen(III)-chlorid-Lösung.

Durchführung:

In verschiedene Reagenzgläser, die mit Wasser oder einem „Modell-Urin“ gefüllt sind, werden nacheinander 1 ml Dinitrobenzol-Lösung und 1 ml Kalilauge gegeben. Anschließend wird gut gemischt und 15 Minuten, vom Tageslicht abgeschirmt, stehen gelassen.

Die Lösungen, die Dehydroepiandrosteron oder ein anderes 17-Ketosteroid (oder Aceton) enthalten, verfärben sich rotviolett.

Versuch 21

Verdampfungskälte

Geräte:

Zerstäuber

Chemikalien:

Pentan (F, leicht entzündliche), Menthol

Durchführung:

50 ml Ethanol werden mit 2 g Menthol versetzt. Die Lösung wird mit einem Zerstäuber auf den Handrücken gesprüht.

Anmerkung:

Falls kein Zerstäuber vorhanden ist, wird ein kleiner Tropfen der Mischung direkt auf den Handrücken gegeben. Die Abkühlung ist deutlich zu spüren.

Versuch 22

Nitrocellulose und Celluloid®

Geräte:

2 Bechergläser (250 ml), Messzylinder, Waage, Glasstab, Petrischale, Porzellanschale, Filterpapier, Holzstab, Feuerzeug, Porzellanschale, Tischtennisball, Bunsenbrenner, Feuerzeug

Chemikalien:

pH-Indikatorpapier, konz. Salpetersäure (C, ätzend), konz. Schwefelsäure (C, ätzend), Watte, Campher

Durchführung:

Herstellung von Cellulosenitrat

Zunächst wird Nitriersäure hergestellt, indem zu 20 ml konz. Salpetersäure unter vorsichtigem Umrühren 40 ml konz. Schwefelsäure gegeben werden.

Nach Abkühlen der Mischung auf Raumtemperatur wird 1 g Watte in die Säure getaucht und mit einem Glasstab so bewegt, dass sie vollständig durchnässt wird. Nach 20 Minuten wird die Flüssigkeit abgegossen, wobei die Watte mit dem Glasstab zurückgehalten wird. Die Watte wird nun in einem mit Wasser gefüllten Becherglas gewaschen. Dabei wird das Waschwasser so oft erneuert, bis das pH-Papier keine Säure mehr anzeigt. Anschließend wird die Watte in einem Trichter ca. 2 Minuten mit fließendem Wasser gespült, ausgepresst und an der Luft getrocknet. Die getrocknete Watte wird gewogen.

Von der Watte wird ein kleiner Teil abgetrennt und in einer Porzellanschale mit Hilfe eines brennenden Holzstabes entzündet. Zum Vergleich wird ein gleich großes Stück nicht-nitrierte Watte in einer Porzellanschale angezündet.

Weichmachen von Cellulosenitrat

Der Großteil der Watte wird mit einem Gramm Campher versetzt. Das Gemenge wird in 10 ml Aceton in einem kleinen Becherglas gelöst. Anschließend lässt man das Lösungsmittel an der Luft (unter dem Abzug oder im Freien) verdampfen. Zurück bleibt der weiße Kunststoff auf dem Boden des Becherglases (Zum Reinigen kann der Kunststoff erneut mit Aceton gelöst werden).

Verbrennen eines Tischtennisballs

Ein Tischtennisball wird in eine Porzellanschale gelegt. Die Bunsenbrennerflamme wird gezielt auf einen Punkt des Balls gehalten bis sich der Ball entzündet. Dann nimmt man den Brenner weg und lässt den Ball abbrennen.

Versuch 23

Chemie des Fußballs

Chemikalien:

Desmophen[®] (X, gesundheitsschädlich), Desmodur[®] (X, gesundheitsschädlich)

Geräte:

alter, nicht beschichteter Lederball, moderner, kunststoffbeschichteter Fußball, Waage, Korkring, Stativ, Klemme, Muffe, 2 Eimer, Handtuch; Plastikbecher (200 ml, weiß oder durchsichtig), Holzspatel

Sicherheitshinweis:

Einen Hautkontakt mit Desmodur[®] und Desmophen[®] ist unbedingt zu vermeiden. Deshalb müssen Schutzhandschuhe getragen werden.

Um den Arbeitstisch nicht zu verunreinigen, wird er mit Papier abgedeckt.

Durchführung:

Wasseraufnahme verschiedener Fußbälle

Ein alter, nicht beschichteter Lederball sowie ein moderner, mit Polyurethan beschichteter Fußball werden auf einem Korkring gewogen. Anschließend werden beide Bälle ca. 1 Stunde in je einen zur Hälfte mit Wasser gefüllten Eimer gelegt und mit einem umgebauten Stativ unter die Wasseroberfläche gedrückt. Dann werden die Bälle oberflächlich abgetrocknet und gewogen.

Der unbehandelte Lederball nimmt deutlich an Masse zu, der kunststoffbeschichtete Fußball kaum.

Herstellung von Polyurethan-Schaum

In einen Plastikbecher wird 0,5 cm hoch Desmodur[®] gefüllt. Dann wird etwa die gleiche Menge Desmophen[®] zugegeben. Die beiden Stoffe werden mit einem Holzspatel gründlich verrührt, eventuell einige Tropfen Wasser zugegeben. Dann wird der Spatel aus der Mischung genommen und gewartet.

Beobachtung:

Nach ca. 2 Minuten beginnt sich Gas in der Mischung zu entwickeln. Es bildet sich ein Schaumpilz.

Entsorgung:

Nach dem Aushärten des Schaums können die Jugendlichen den Stoff mit nach Hause nehmen.

Ergänzender Versuch: Bau eines C₆₀-Modells

Mit einem Molekülbaukasten wird ein Modell der Kohlenstoffmodifikation C₆₀ gebaut.



Foto 13: Schülerin mit einem modernen Fußball. Im Vordergrund ein Fußball aus Fritz Walters Zeit und ein C60-Modell (molekularer-Fußball).

Versuch 24

Herstellung von Polyamid 6.6 durch Phasengrenzflächenkondensation („Nylonfaden-Trick“)

Geräte:

Messzylinder (25 ml), Becherglas (250 ml), Fortuna-Pipette (2 ml), Tropfpipette, Pinzette, Glasplatte

Chemikalien:

1,6-Diaminohexan (C, ätzend), Natronlauge ($c = 1 \text{ mol/l}$; C, ätzend), Phenolphthalein-Lösung ($w = 0,1 \%$ in Ethanol; F, leichtentzündlich), Adipinsäuredichlorid (C, ätzend), Hexan oder Petrolether (F, leicht entzündlich)

Sicherheitshinweis:

Die entstandenen Fäden enthalten noch Natronlauge, deshalb dürfen sie nicht mit ungeschützten Händen angefasst werden. Aus diesem Grund müssen Handschuhe getragen werden, falls die Fäden als Anschauungsmaterial herumgereicht werden sollen, oder sie müssen in eine Schutzhülle eingepackt werden.

Durchführung:

1,1 g 1,6-Diaminohexan werden in 10 ml Wasser gelöst. Zu der Lösung werden 2 Tropfen Phenolphthalein-Lösung und 20 ml Natronlauge gegeben. Abschließend wird auf ein Gesamtvolumen von 50 ml mit Wasser aufgefüllt (Lösung I).

2 ml Adipinsäuredichlorid werden in 50 ml Hexan oder Petrolether gelöst (Lösung II). 10 ml der Lösung I werden in das Becherglas gegeben und vorsichtig mit der gleichen Menge Lösung II überschichtet. (Dies kann mit einer Tropfpipette erfolgen, die gegen die Wand des Becherglases entleert wird.) (Die beiden Lösungen reichen für 4-5 Versuche.) An der Grenzfläche der beiden Lösungen entsteht eine Haut. Mit einer Pinzette werden Fäden herausgezogen und auf einer Glasplatte aufgewickelt.

Die Fäden werden unter fließendem Wasser gewaschen und an der Luft getrocknet. (Dabei kann es durch restliche Natronlauge zur Hydrolyse und Bräunung des Produktes kommen.)

Entsorgung:

Restliche Lösungen werden zu den organischen Lösungsmittelabfällen gegeben. Die Polyamidfäden werden getrocknet und im Hausmüll entsorgt.

Versuch 25

Herstellung von Polyamid 6.6 aus AH-Salz

Geräte:

Reagenzglas, Reagenzglashalter, Brenner, Feuerzeug, Alufolie, Filterpapier

Chemikalien:

AH-Salz, Adipinsäure, 1,6-Diaminohexan (C, ätzend), Methanol (F, leicht entzündlich; T, giftig, wasserfreies Kupfersulfat)

Hinweis:

Falls das AH-Salz nicht gekauft wird, kann es selbst hergestellt werden. Dazu werden 8,6 g Adipinsäure in möglichst wenig Methanol gelöst. 6,8 g Hexamethyldiamin werden zugerührt wobei sich die Mischung erwärmt, beim Abkühlen fällt das AH-Salz aus. Es wird abfiltriert und an der Luft getrocknet.

Durchführung

Ein Reagenzglas wird etwa 2 cm hoch mit AH-Salz gefüllt. Es wird mit dem Brenner solange erhitzt, bis kein Wasser mehr ausgetrieben und der Inhalt honiggelb wird. Dann wird dieser auf eine Alufolie gegossen.

Beobachtung:

Auf der Alufolie kühlt der Kunststoff aus und bildet einen weißen Überzug.

Anmerkung:

Im Gegensatz zu Kerzenwachs, das beim Erhitzen auch flüssig wird und bei Abkühlen wieder fest, kondensiert Wasser. Das Kondenswasser bei der Polyamidbildung kann mit wasserfreiem Kupfersulfat nachgewiesen werden (Blaufärbung).

Entsorgung:

Der Kunststoff und die Alufolie können im Hausmüll entsorgt werden.

Versuch 26

Reparieren und Wachsen von Skiern

Geräte:

Alte Skistücke (ca. 30 cm lang), Messer, Feile, Schmirgelpapier, Feuerzeug, altes Bügeleisen, Lappen

Chemikalien:

Ski-Reparaturstangen aus Polyethen, Spiritus oder Aceton (F, leicht entzündlich; Xi, reizend), alpines Skihartwachs

Durchführung:

Mit einem Messer werden ausgefranzte Stellen im Reparaturbereich möglichst geradlinig ausgeschnitten. Eine Ski-Reparaturstange aus Polyethen wird angezündet und so über die zu reparierende Stelle gehalten, dass das schmelzende Polyethen in die zu reparierende Stelle tropft. Nach dem Trocknen und Abkühlen wird der Belag mit einer Feile und Schmirgelpapier geglättet.

Altes Wachs auf dem Skistück wird mit einem in Spiritus oder Aceton getränkten Lappen entfernt. Dann wird ein Stück alpines Skihartwachs an ein altes Bügeleisen (niedrige Wärmestufe) gehalten. Das Wachs wird flüssig. Die Wachstropfen werden in ca. 3-5 cm Abstand auf die Lauffläche des Skis getropft, so dass sie möglichst gleichmäßig auf der Lauffläche verteilt sind. Anschließend werden sie mit dem Bügeleisen in den Belag gebügelt.

Nach dem Erkalten wird das überschüssige Wachs mit einer Metall- oder Kunststoffplatte abgezogen.

Versuch 27

Herstellung von Kohlenstofffasern aus Polyacrylnitrilfasern

Geräte:

Stativ mit Klammer und Muffe, Plastikinjektionsspritze (20 ml) mit großer Kanüle (2,1 x 30 mm), Becherglas (400 ml, hohe Form), Pinzette

Chemikalien:

10%ige Lösung von Polyacrylnitril in Dimethylacetamid (T, giftig)

Sicherheitshinweis:

Ein Hautkontakt mit der Polyacrylnitril-Lösung ist unbedingt zu vermeiden. Deshalb Schutzhandschuhe tragen!

Durchführung:

Eine Spritze wird senkrecht in ein Stativ eingespannt, dass die Kanüle nach unten auf ein mit 300 ml Wasser gefülltes Becherglas zeigt. Der Spritzenkolben wird herausgezogen und die Spritze wird mit der Polyacrylnitril-Lösung gefüllt.

Der Kolben wird wieder auf die Spritze gesetzt und vorsichtig gedrückt, dass die Lösung langsam in das Wasser läuft. Die entstandenen Fasern werden mit der Pinzette aufgenommen und an der Luft getrocknet. Anschließend werden sie über Nacht bei 250° C in den Trockenschrank gegeben.

Die resultierenden Fasern sind schwarz und flammfest.

Entsorgung:

Die Lösung von Polyacrylnitril in Dimethylacetamid wird in den organischen Lösungsmittelabfällen entsorgt.

Sachinformationen zum Versuch

„Herstellung von Kohlenstofffasern aus Polyacrylnitrilfasern“

Anisotrope Kohlenstofffasern, die aus ineinander greifenden und in Faserrichtung orientierten Graphitschichten bestehen, können aus Polyacrylnitrilfasern synthetisiert werden. Diese werden zunächst oberhalb 200 °C an der Luft (Trockenschrank) vorbehandelt. Dabei wird die Oberfläche der PAN-Faser unter Bildung von Hydroxyl-, Carbonyl- und Carbonsäuregruppen oxidiert und die Faser dadurch in ihrer Form stabilisiert. Außerdem setzen Cyclisierungen (Additionen benachbarter Nitrilgruppen), Dehydrierungen und Eliminierungen von Ammoniak, Blausäure und Wasser ein.

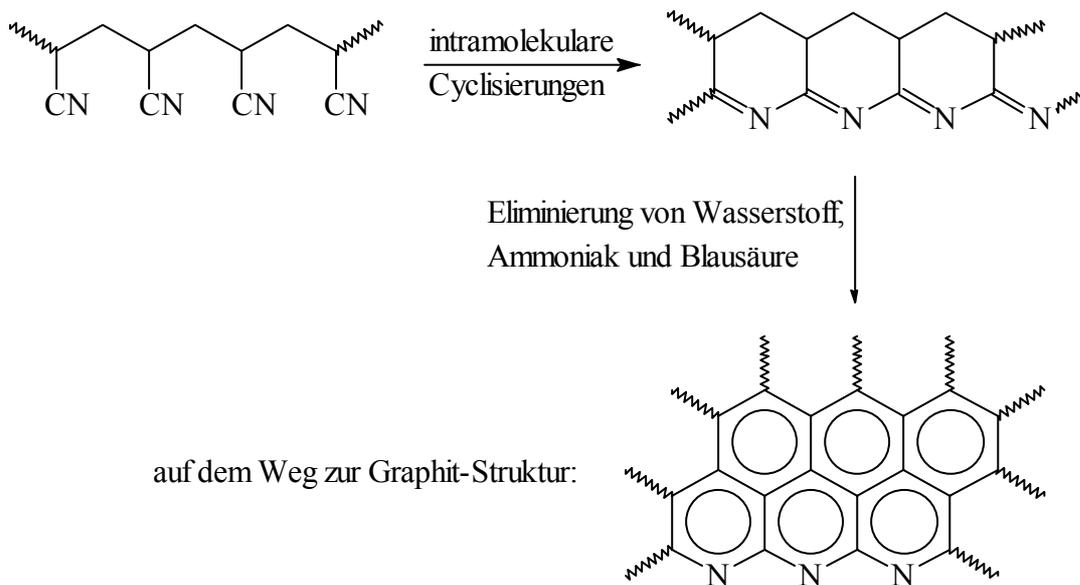




Foto 14: Fällung von Polyacrylnitril

Versuch 28

Herstellung von Faserverbundmaterialien

Geräte:

Papp- oder Plastikbecher, Holzspatel

Chemikalien:

Fasergewebeprouben (Karbonfasern, Glasfasern oder Aramidfasermatten), Epoxid-Laminiersystem (Epoxid EP 210 und Härter EPH 414; Bezugsquelle: Firma Bacuplast Faserverbundtechnik GmbH, Dreherstr. 4, Industriegebiet Groshülsberg, D-42899 Remscheid-Lüttringhausen), alternativ Bayer Versuchspaket 12 Lekutherm E 320[®] und Kalthärter T 3[®] (Bezugsquelle: Bayer AG, E-Mail: Anne.Papsdorf@bayer-ag.de, Internet: www.bayer.schule.de)

Sicherheitshinweis:

Einen Hautkontakt mit dem Harz und Härter ist unbedingt zu vermeiden. Deshalb Schutzhandschuhe tragen!

Hinweis:

Die Mischung aus Epoxid und Härter muss unmittelbar nach ihrer Herstellung verwendet werden.

Durchführung:

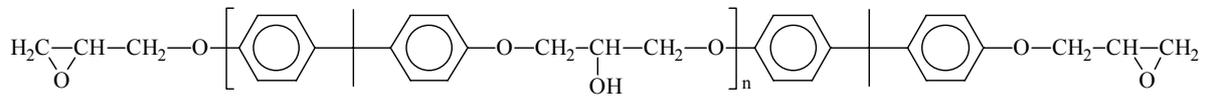
In einem Papp- oder Plastikbecher werden 10 ml Härter EPH 414 und 25 ml Harz EP 210 mit einem Holzspatel gründlich gemischt. Ein Fasergewebestück (10 cm²) wird auf Papier gelegt und mit der Harzmischung bestrichen. Mehrere Fasergewebestücke können miteinander verklebt werden.

Versuchsalternative unter Verwendung des Bayer-Versuchspaket 12:

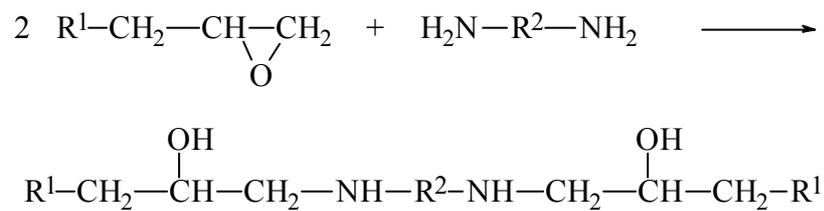
In einem Papp- oder Plastikbecher werden 40 g Lekutherm 320[®] und 8 g Kalthärter T[®] 3 mit einem Holzspatel gründlich gemischt. Ein Fasergewebestück (10 cm²) wird auf Papier gelegt und mit der Harzmischung bestrichen. Es können mehrere Fasergewebestücke miteinander verklebt werden. Die Trocknungszeit beträgt ca. einen Tag.

*Sachinformationen zum Versuch
„Herstellung von Faserverbundmaterialien“*

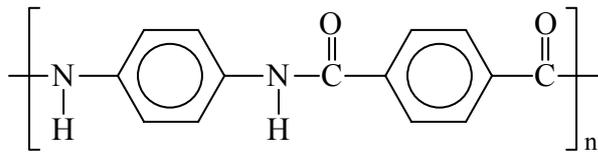
Epoxidharze entstehen, wenn lineare Oligomere (Molmasse ca. 2000 g/mol) mit mindestens zwei Epoxidgruppen, z. B.



mit Diaminen vernetzt werden:



Wenn Glas-, Kohlenstoff- oder Kunststoff-Fasern, z. B. das flüssigkristalline Polyamid Kevlar[®]



in das Harz eingebettet sind, spricht man von Verbundwerkstoffen.

Versuch 29

Membrane für atmungsaktive Sportkleidung

Geräte:

Becherglas, Tropfpipette, Gore-Tex[®]-Membran (Bezugsquelle: W. L. Gore & Associates GmbH, Postfach 1162, D-83618 Feldkirchen-Westerham, www.gore-tex.com.)
Test-Kit zur HIGH₂OUT-Membran (Bezugsquelle: (inkl. Informations-material) Sympatex[®] Technologies GmbH, Postfach 100149, D-42097 Wuppertal), Polyamid-Frischhaltefolie

Durchführung:

Zunächst wird etwas Wasser auf beide Seiten der Gore-Tex[®]-Membran bzw. des Sympatex[®]-Laminates getropft.

Dann wird die Gore-Tex[®]-Membran – und im Vergleichsversuch eine Polyamid-Frischhaltefolie – über ein Glas mit heißem Wasser gespannt und ein Spiegel in geringem Abstand darüber gehalten.

Mit dem Sympatex[®]-Test-Kit wird auf ähnliche Weise die Wasserdampfdurchlässigkeit der HIGH₂OUT-Membran geprüft (s. Gebrauchsanweisung auf dem Test-Kit).

Beobachtung:

Die Gore-Tex[®]-Membran bzw. das Sympatex[®]-Laminat lassen von der Außenseite kein Wasser durch. Das Wasser bildet einen kugelförmigen Tropfen.

Tropft man Wasser auf die Innenseite des Sympatex[®]-Laminates, so verteilt es sich schnell und wird von der Laminat-Innenseite aufgenommen.

Der aufsteigende heiße Wasserdampf kann die Gore-Tex[®]-Membran von der Innenseite her durchdringen. Der Spiegel beschlägt.

Die Polyamid-Frischhaltefolie kann vom Wasserdampf nicht durchdrungen werden. Das Wasser kondensiert und bildet an der Innenseite der Folie Kondenswassertropfen.

Der Sympatex[®]-Test-Kit zeigt, dass die HIGH₂OUT-Membran wie die Gore-Tex[®]-Membran eine Durchlässigkeit für Wasserdampf besitzt.

8 Literatur

- [1] I. Parchmann, R. Demuth, B. Ralle: Chemie im Kontext – Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontext. – PdN-ChiS 50 (2001), Heft 1 (Themenheft „Chemie in sinnstiftenden Kontexten“), S. 2-8
- [2] H. Huntermann, I. Parchmann: Das Auto – ein Rahmenkontext für einen anders gestalteten Chemieunterricht. – PdN-ChiS 50 (2001), Heft 1 (Themenheft „Chemie in sinnstiftenden Kontexten“), S.
- [3] A. Paschmann, T. de Vries, K. Lüchtenborg, I. Archadi, I. Parchmann: Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf. – MNU 53, Heft 3, S. 170-175 und Heft 4, S. 227-231
- [4] K. Mädefessel-Herrmann, F. Hammar, H.-J. Quadbeck-Seeger: Chemie rund um die Uhr. – Wiley-VCH-Verlag, Weinheim, 2004
- [5] H. Jenett, K. Kohse-Könighaus: Chemie zum Selbermachen – Mitmachlabors in Deutschland. – Nachrichten Chemie 51 (2003), Heft 2, S. 144-149; s. auch <http://www.junioruniversitaet.de/>
- [6] V. Wiskamp, H. Ritter: Wir modellieren die Farbstoffindustrie. – Chemie & Schule (1998), Heft 2, S.14-16
- [7] S. Schlabach: Zur Chemie der Malerfarben mit anorganischen Pigmenten - Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt für Haupt- und Realschulen im Fach Chemie an der Justus Liebig Universität Gießen, Fachbereich Didaktik der Chemie bei Prof. Dr. H. Gebelein, L2-II 45/95, 1995
- [8] V. Wiskamp: Kulturwissenschaft Chemie – ein Kurs für hochbegabte Schüler. – Chem. Lab. Biotechn. 51 (2002), Heft 2, S. 59-60
- [9] J. Soentgen: Chemie und Liebe: ein Gleichnis – Die Chemie als Schlüssel zu den Wahlverwandtschaften von Goethe. – Chem. unserer Zeit 30 (1996), S. 295-297
- [10] H. Gebelein, E.-W. Grabner in A. Schmidt, K.-J. Grün (Hrsg.): Durchgeistete: Natur. Ihre Präsenz in Goethes Dichtung, Wissenschaft und Philosophie; Chemie und Alchemie in Goethes poetischen und wissenschaftlichen Werken, Versuche zum Anschauen und Begreifen, Frankfurt/Main, Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Wien, 2000, S. 161 ff.
- [11] V. Wiskamp, H.-L-Krauß, S. Müller-Langsdorf: Naturwissenschaftliches Experimentieren im religionspädagogischen Bildungsauftrag der Kindertagesstätten. – Theorie und Praxis der Sozialpädagogik (TPS), im Druck
- [12] V. Wiskamp: Naturwissenschaftliches Experimentieren – nicht erst ab Klasse 7. – Kapitel 4.8: Naturwissenschaft und Schöpfung. – Shaker Verlag, Aachen, 2004, S. 38-40
- [13] V. Wiskamp, M. Holfeld, H.-L. Krauß, W. Proske: Chemie im Rahmen von religions- und sozialpädagogischen Kinder- und Jugend-Programmen. – PdN-ChiS 54 (2005), Heft 1, S. 25-30
- [14] M. Holfeld: Chemie und Sport. – PdN-ChiS 51 (2002), Heft 5, S. 17-22
- [15] H. Gebelein: Lebensmittelchemie im Unterricht, Hessisches Institut für Lehrerfortbildung, Vortrag mit Schulexperimenten: Zur Chemie der Lebensmittel und der Ernährung, Institut für Didaktik der Chemie, 1993

- [16] M. Holfeld, W. Proske, V. Wiskamp: Energiebereitstellung im Sport – fächerverbindender Chemie/Sport-Unterricht. – Chemie & Schule 17 (2002), Heft 3, S. 2-4
- [17] M. Holfeld, W. Proske, V. Wiskamp: Carnitin – eine Aminosäure für die Verbrennung von Fetten. – NiU-Chemie 14 (2003), Heft 75, S. 37-39
- [18] M. Holfeld, W. Proske, V. Wiskamp: Iodometrische Bestimmung von Vitamin C in Sportgetränken. – NiU-Chemie 14 (2003), Heft 75, S. 51-52
- [19] M. Holfeld, W. Proske, V. Wiskamp: Fotometrische Bestimmung von Coffein in Energy-Drinks. – NiU-Chemie 14 (2003), Heft 76/77, S. 100-101
- [20] V. Wiskamp, M. Holfeld: Steroide – Aufbau, Wirkung und Analytik. – CLB Chem. Lab. Biotechn. (Beilage Memory) 55 (2004), Heft 3, S. 17-20
- [21] M. Holfeld, V. Wiskamp: Chemie und Sport. – NiU-Chemie, im Druck
- [22] M. Holfeld, V. Wiskamp: Kunststoffe in Sportartikeln. – In: RAAbits-Chemie, Ausgabe 4/2004 (Ergänzungslieferung Dezember 2004), Raabe Verlag, Stuttgart, Kap. 8 II H, S. 1-26
- [23] H. Gebelein, V. Wiskamp, M. Holfeld: Biochemie der Harnsäure und der Milchsäure. – Chem. Lab. Biotechn., 55, (2004), Heft 11, S. 408-410
- [24] M. Holfeld, V. Wiskamp: Welche Chemie-Themen interessieren Sportlehrer? – PdN-ChiS, im Druck (mit Online-Ergänzung)
- [25] V. Wiskamp, M. Holfeld, W. Proske: Chemie und Gesundheit – Anregungen für den Schulunterricht. – In Vorbereitung
- [26] Lehrplan Chemie: Gymnasialer Bildungsgang Jahrgangsstufen 8 bis 13. – Hessisches Kultusministerium, 3.6.2002
- [27] Lehrplan Sport: Gymnasialer Bildungsgang Jahrgangsstufen 11 bis 13. – Hessisches Kultusministerium, 3.6.2002
- [28] H. Muckenfuß: Lernen in sinnstiftenden Kontexten. – 1. Aufl., Cornelsen, Berlin, 1995
- [29] H. Huntermann, A. Paschmann, I. Parchmann, B. Ralle: Chemie im Kontext – ein neues Konzept für den Chemieunterricht? Darstellung einer kontextorientierten Konzeption für den 11. Jahrgang. – ChemKon 6 (1999), S. 191-196
- [30] W. G. Burton et al.: Salters Advanced Chemistry. – J. Chem. Educ. 72 (1995), S. 227-230
- [31] J. N. Lazonby et. al.: Teaching and Learning by Salters' Way. – J. Chem. Educ. 69 (1992), S. 899-902
- [32] C. J. Stanisky (Hrsg.): Chemistry in Community. – 3rd ed., Kendall/Hunt publ. Company, 1998
- [33] I. Parchmann: Treibhauseffekt und Ozonloch – ein großes Durcheinander. – PLUS LUCIS 1996, Heft 2, S. 33-
- [34] A. Paschmann, T. de Vries, M. I. Steinmann, I. Parchmann: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. – ChemKon 7 (2000), S. 85-87
- [35] M. W. Tausch: Atom, Molekül, Mol – eine Schulbuchsynopse über 80 Jahre. – PdN-Chemie 43 (1994), Heft 7, S. 32
- [36] M. W. Tausch, M. Woock, M. Twellmann: Vom Erdöl zum Kaugummi – Ein Kontext und seine Facetten. – PdN-ChiS 50 (2001), Heft 1 (Themenheft „Chemie in sinnstiftenden Kontexten“), S. 11-15
- [37] B. Ralle, I. Hoffmann: Atmen unter Extrembedingungen. – PdN-ChiS 50 (2001), Heft 1, S. 16-22

- [38] W. Gräber: Untersuchung zum Schülerinteresse an Chemie und Chemieunterricht. – Chemie in der Schule 39 (1992), Heft 7/8, S. 270
- [39] J. Freienberg, W. Krüger, G. Lange, A. Flint: „Chemie fürs Leben“ auch schon in der Sekundarstufe I – geht das? – ChemKon 8 (2001), S. 67-75
- [40] P. Markworth: Sportmedizin Physiologische Grundlagen, rororo, Reinbeck, 1983, S. 231-259
- [41] D. Voet, J. G. Voet: Biochemie. – VCH, Weinheim, 1992, S. 557
- [42] Voet, D.; Voet, J. G.; Pratt, C. W.: Fundamentals of Biochemistry. – Wiley, New York, 1999, S. 362
- [43] A. L. Lehninger: Prinzipien der Biochemie. – de Gruyter, Berlin, 1987, S. 423-424 und 761-762
- [44] A. Marder, H. Liesen, H. Heck, H. Philipi, R. Rost, P. Schürch, W. Hollmann: Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. – Sportarzt und Sportmedizin 27 (1976), S. 80-88 und 109-112
- [45] J. Weineck: Optimales Training. – 11. Auflage, Spitta Verlag, Erlangen, 2000, S. 196-207
- [46] P. Markworth: Sportmedizin Physiologische Grundlagen, rororo, Reinbeck, 2000, S. 256
- [47] P. G. J. M. Janssen: Ausdauertraining – Trainingsteuerung über die Herzfrequenz. – Spitta Verlag, Ballingen, 1996
- [48] L. Hallmann: Klinische Chemie. – VEB-Verlag G. Thieme, Leipzig, 1960, S. 82-83
- [49] H. Aebi: Einführung in die praktische Biochemie. – Karger Verlag, Basel, 1965, S. 264-265
- [50] W. Asselborn, M. Jäckel, K. T. Risch (Hrsg.): Chemie heute – Sek. II. – Schroedel, Hannover, 2003, S. 125-126
- [51] M. Remer: Journal of american dietetic association 1995, S. 791-797
- [52] D. Voet, J. G. Voet, C. W. Pratt: Fundamentals of Biochemistry. - in Wiley, New York, 1999, S. 712-719
- [53] W. Schänzer: Dopinginformationen des Instituts für Biochemie. – Deutsche Sporthochschule Köln; www.doping-info.de
- [54] W. Schänzer: Doping und Dopinganalytik. – Chem. unserer Zeit 31 (1997), Heft 5, S. 218-228
- [55] F. Horn, G. Lindenmeier, G. et all: Biochemie des Menschen, Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2. Auflage, 2003, SS. 150-153
- [56] wero Kühlschpray: wero medical, D-65232 Taunusstein, Idsteinerstraße 94, Best. Nr. 031115, www.wero.de
- [57] K. Stepping: Kunststoffe in Freizeit und Sport. – Verband Kunststoffherstellende Industrie e.V., <http://www.vke.de> , 60329 Frankfurt, Karlstraße 21, ohne Jahrgang, S. 4
- [58] Tretorn Tennisball Micro X tour performance tennis balls: www.tretorn.com
- [59] K. Hottenrot, V. Urban: Handbuch für den Skilanglauf. – Aachen, 1996, S. 11, 26-28
- [60] A. Velten: Bibliographie zur Geräteentwicklung im alpinen Skisport. – Diplomarbeit, Deutsche Sporthochschule Köln, 1996, S. 28
- [61] M. Lindinger: Fußbälle und Zylinder aus der Nanowelt. – Die Zeit, 4.12.2002, S. N2

- [62] Video-Serie: Molekulare Schöpfung. – Video 1. Kontakt: U. Tschimmel, mediaprojekts@csi.com
- [63] Test und Technik. – Tour, das Rennrad-Magazin, 2004, Heft 2, S. 14-29, www.tour-magazin.de
- [64] K. Easterling, E. Zschech: Werkstoffe im Trend, Berlin 1997, S. 37
- [65] E. Greven: Werkstoffkunde – Werkstoffprüfung für technische Berufe. – Verlag Handwerk und Technik, 9. Aufl., 1981. – Kapitel: Festigkeitsprüfung mit schwingender Beanspruchung. – S. 258-265
- [66] F.R. Whitt, D.G. Wilson: Bicycling Science, Strength of materials, Fatigue, SS.241-245, The MIT Press, London, England, 1982 by The Massachusetts Institute of Technology
- [67] Titan aus Russland. – Tour, das Rennrad-Magazin, 2001, Heft 8, S. 44-53, www.tour-magazin.de
- [68] Speedo fast skin: Speedo Deutschland GmbH, Metzingerstr. 75, 72555 Metzingen; www.Seedo.de
- [69] V. Wiskamp: Chemie-Kurse für Hochbegabte. – Harri Deutsch Verlag, Frankfurt, 2004
- [70] M. Holfeld: Das Blue-Bottle-Experiment einmal anders. – PdN-Chemie 49 (2000), Heft 3/49, S. 39-40

Anhang:

Anhang 1:

Aus dieser Dissertation (bisher) hervorgegangene Publikationen

M. Holfeld	Das Blue-Bottle-Experiment einmal anders. – PdN-Chemie 49 (2000), Heft 3/49, S. 39-40
M. Holfeld et al.	Chemie im Rahmen von religions- und sozialpädagogischen Kinder- und Jugend-Programmen. – PdN-ChiS 54 (2005), Heft 1, S. 25-30
M. Holfeld	Chemie und Sport. – PdN-ChiS 51 (2002), Heft 5, S. 17-22
M. Holfeld et al.	Energiebereitstellung im Sport – fächerverbindender Chemie/Sport-Unterricht. – Chemie & Schule 17 (2002), Heft 3, S. 2-4
M. Holfeld et al.	Carnitin – eine Aminosäure für die Verbrennung von Fetten. – NiU-Chemie 14 (2003), Heft 75, S. 37-39
M. Holfeld et al.	Iodometrische Bestimmung von Vitamin C in Sportgetränken. – NiU-Chemie 14 (2003), Heft 75, S. 51-52
M. Holfeld et al.	Fotometrische Bestimmung von Coffein in Energy-Drinks. – NiU-Chemie 14 (2003), Heft 76/77, S. 100-101
M. Holfeld et al.	Steroide – Aufbau, Wirkung und Analytik. – CLB Chem. Lab. Biotechn. (Beilage Memory) 55 (2004), Heft 3, S. 17-20
M. Holfeld et al.	Chemie und Sport. – NiU-Chemie, im Druck
M. Holfeld et al.	Kunststoffe in Sportartikeln. – In: RAAbits-Chemie, Ausgabe 4/2004 (Ergänzungslieferung Dezember 2004), Raabe Verlag, Stuttgart, Kap. 8 II H, S. 1-26
M. Holfeld et al.	Biochemie der Harnsäure und der Milchsäure. – Chem. Lab. Biotechn., 55 (2004)
M. Holfeld et al.	Welche Chemie-Themen interessieren Sportlehrer? – PdN-ChiS, im Druck (mit Online-Ergänzung)
M. Holfeld et al.	Chemie und Gesundheit – Anregungen für den Schulunterricht. – In Vorbereitung

Anhang 2:

Welche Chemie-Themen interessieren Sportlehrer?

1 Ausgangsbedingungen und Ziel der Untersuchung

Der Schulsport in der gymnasialen Oberstufe in Hessen ist durch die Kursstrukturpläne und seit dem 03.06.2002 durch den „Lehrplan Sport“ inhaltlich festgelegt.

In den alten Kursstrukturplänen waren die Theorieinhalte nach drei Lernbereichen vorgegeben:

- Lernbereich I - Bewegungslernen
- Lernbereich II – Sportliches Training
- Lernbereich III – Soziale Aspekte des Sports

Als Beispiel für den Lernbereich I wurde das Regelkreismodell genannt (äußeres und inneres Informationssystem, visueller, akustischer, kinästhetischer, taktiler und vestibulärer Analysator; Afferenz; Antizipation). Als Beispiel für den Lernbereich II wird im Projekt Ausdauertraining z. B. aufgeführt: „Veränderung des Blutes und des peripheren Systems“ (Vergrößerung der Sauerstoffaufnahmekapazität, verbesserte Atmungsaktivität, Pufferkapazität im Blut).

Da die Kursstrukturpläne jeweils nur Beispiele für die Umsetzung der Themeninhalte geben, haben die Sportlehrer ihre inhaltlichen Schwerpunkte unterschiedlich gelegt. So hat z. B. derjenige mit dem Zusatzfach Biologie eher Sportmedizin und Physiologie unterrichtet, während sein Kollege mit dem Zusatzfach Gemeinschaftskunde in der Regel das soziale Umfeld des Sports bevorzugt thematisiert hat.

Auch der neue Lehrplan Sport (vom 3.6.2002) beinhaltet fachübergreifendes und fächerverbindendes Lernen. Neben den bekannten Kombinationen von Biologie und Sport sowie Politik/Wirtschaft und Sport werden auch Bezüge von Chemie und Sport angeführt. Detaillierte Hinweise auf Gewichtung oder Informationsquellen werden allerdings nicht gegeben.

Für das interessante und weite Feld von fach- und fächerübergreifenden Unterrichtsinhalten aus dem Bereich „Chemie und Sport“ ist eine didaktische Aufarbeitung notwendig. Sinnvoll ist es zu eruieren, wo die Sportlehrer ihre Schwerpunkte bei chemiebezogenen Themen im Sportunterricht setzen und auf welchen Gebieten ein Interesse an didaktischer Unterstützung vorhanden ist.

Durch eine Befragung (s. Anhang) sollten Informationen gewonnen werden

- über allgemeine Interessen der Sportlehrer für den Theorieteil in ihrem Fach und Schwerpunktsetzungen
- über die Gewichtung des Dopingproblems im Theorieteil des Sportunterrichtes
- wie die Sportlehrer neue Themen wie z. B. Mode-Getränke behandeln
- über den Informationsstand der Sportlehrer über Sportgetränke
- wie wichtig die Sportlehrer eine Reflexion über den Einfluss von High-Tech Produkten auf den Sport halten

- über das spezielle Interesse von Lehrern mit den Fächerkombinationen Biologie/Sport bzw. Chemie/Sport an fächerübergreifenden Themen

2 Auswertung des Fragebogens

In Hessen gibt es 20 Schulämter und mit durchschnittlich 14 Gymnasien oder Schulen mit gymnasialer Oberstufe. Die Anzahl der Sportlehrer ist unterschiedlich groß und richtet sich nach Größe der Schule. Um möglichst viele Lehrer für die Umfrage zu erreichen, wurden jedem Schulamt 25 Fragebögen mit der Bitte um Weiterleitung an die jeweiligen Gymnasien zugesandt. 81 Sportlehrer haben geantwortet.

Die Befragtengruppe setzt sich aus 81 Sportlehrern zusammen, von denen 61 (75 %) männlichen Geschlechts sind (s. Abbildung 1).



Abb. 1: Verteilung der Befragtengruppe nach Geschlecht

Die Altersbereiche zwischen 30 und 40 Jahren und über 50 Jahren sind besonders häufig vertreten. Sportlehrer, die noch keine 30 Jahre alt sind, bilden die kleinste Gruppe (s. Abbildung 2).

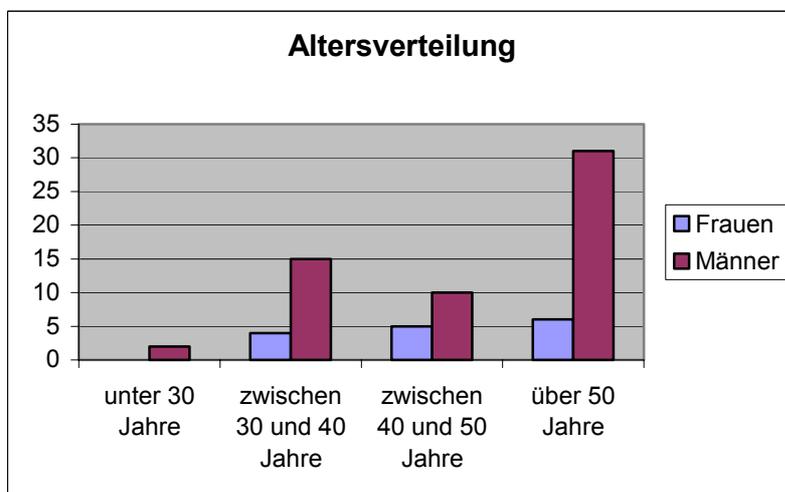


Abb. 2: Altersverteilung der befragten Sportlehrer

19 Befragte (27 %) haben ein Dienstalter unter 8 Jahren, 8 Befragte (11 %) ein Dienstalter zwischen 8 und 15 Jahren und 44 Sportlehrer (62 %), die an der Befragung teilgenommen haben, haben ein Dienstalter über 15 Jahre. (Nicht alle Kollegen haben Alter, Geschlecht und Dienstjahre angegeben (s. Abbildung 3).

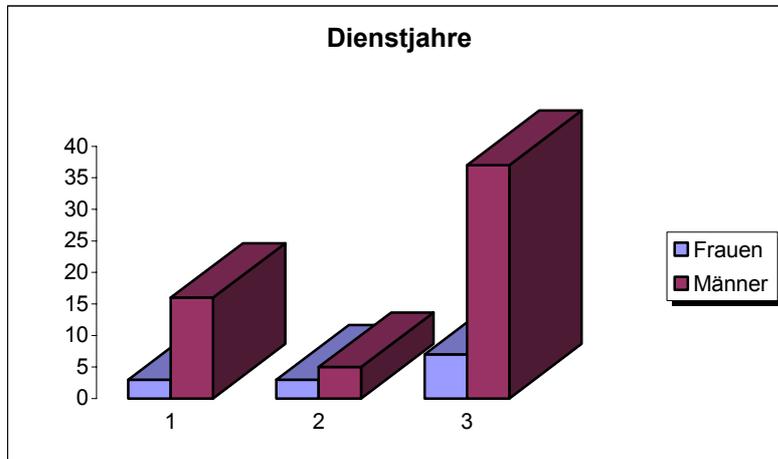


Abb. 3: Verteilung der Dienstjahre

Allgemein ist festzustellen, dass der überwiegende Anteil der Befragten männlich und über 50 Jahre alt ist. Auch bei den weiblichen Kollegen ist der Anteil der über 50-jährigen relativ hoch. Dementsprechend haben 60 % der Befragten ein Dienstalter von über 15 Jahren. Dies ist insofern interessant, weil man aus den Ergebnissen der Fragebögen schließen kann, dass die Antworten langjährige Erfahrung widerspiegeln. Zudem wurde an viele Schulen nur ein Fragebogen weitergereicht, der dann vom Schulsportleiter ausgefüllt wurde. Da Schulsportleiter die Probleme und Interessen ihrer Fachkollegen kennen, ist davon auszugehen, dass ihre Antworten repräsentativ sind.

Auf die *Frage 1*, welche Themengebiete die Kollegen für den Theorieanteil des Sportunterrichts besonders interessant finden, haben 12 Kollegen (82 %) das Thema „Energiebereitstellung im Sport“ angegeben. Ein Lehrer führte hier noch „Energiestoffwechsel“ bei. Das Thema „Nahrungsergänzung/Nahrungsmittelsubstitution“ folgte auf Platz 2 mit 49 Nennungen (61 %). Fast genau so viele Sportlehrer, nämlich 48 (59 %) fanden das Thema „Doping“ für den Theorieanteil interessant. Für weniger interessant hielten die Sportlehrer die Themen „Funktion und Aufbau von Sportkleidung“ (16 Nennungen, 20 %) und „Moderne Kunststoffe in Sportgeräten“ (9 Nennungen, 11 %). Da Mehrfachnennungen möglich waren, lag die Summe bei über 100 % (s. Abbildung 4).

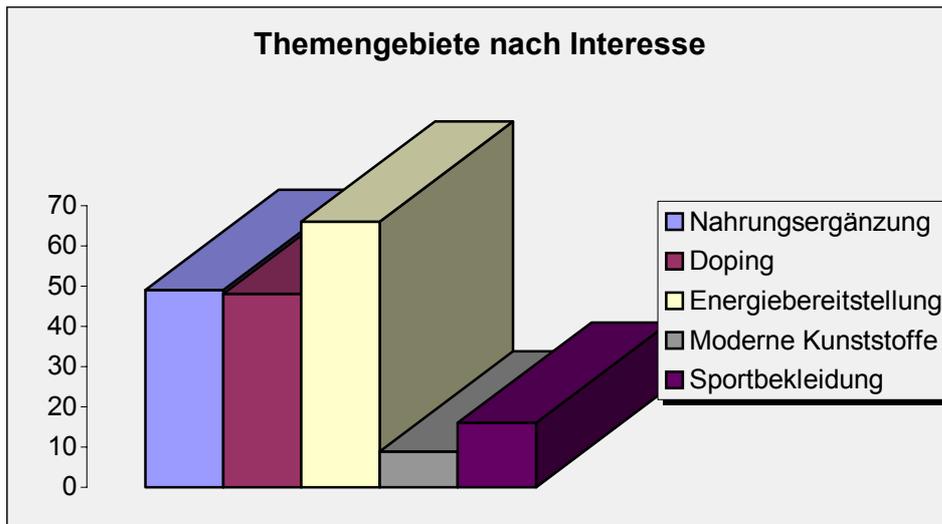


Abb. 4: Themengebiete nach Interessenlage der Lehrer für den Theorieanteil des Sportunterrichts

Unter der Rubrik Sonstiges hatten die Befragten die Möglichkeit, weitere Themen einzutragen, die sie für interessant hielten. Genannt wurden:

- Biomechanik (zweimal aufgeführt)
- Physiologie und Anatomie der beteiligten Organe/Muskelaufbau (zweimal aufgeführt)
- Trainingslehre und Muskelphysiologie/Adaption des Körpers auf den Sport (siebenmal aufgeführt)
- Regelwerk und Sporttaktik (einmal aufgeführt)
- Einfluss auf die Gesellschaft aus der Sportsoziologie und Sportgeschichte (zweimal aufgeführt)
- Funktion des Aufwärmens / Stretching (zweimal aufgeführt)
- Gesundheitsaspekte / Prävention von Krankheiten / Herz-Kreislauf (fünfmal aufgeführt)
- Motivationsfunktion des Sports (einmal aufgeführt)
- Sport und Umwelt (einmal aufgeführt)

Aus der Abbildung 4 ist zu erkennen, dass der Interessenschwerpunkt bei den Themen: „Energiebereitstellung“, „Doping“ und „Nahrungsmittelergänzung“ liegt. Diese Themen haben einen direkten Bezug zur Sportmedizin. Nicht nur die Lehrer mit dem Zweitfach Biologie halten diese Themen für wichtig, sondern alle Sportkollegen, egal mit welchem Zweitfach.

Die Themen: „Moderne Kunststoffe“ und „Sportbekleidung“ sind von einer geringeren Personenzahl gewählt worden, und zwar überwiegend von denen, die auch Chemie unterrichten.

Weiterhin wurden von den Lehrern bevorzugt Themen genannt, die aus dem Gebiet der Trainingslehre kommen. Es ist verständlich, dass ein Sportlehrer diesen Themenbereich für den Theorieanteil des Sportunterrichts für wichtig hält.

Auffallend ist, dass nur zwei Kollegen Themen aus dem Gebiet der Sportgeschichte und Sportsoziologie interessant fanden.

Die *zweite Frage* bezieht sich auf moderne Energy-Drinks und ihre Wirkungsweise im Organismus. Die Kollegen sollten angeben, in wie weit ihnen Unterschiede und Wirkungsweisen der Sportgetränke bekannt sind (s. Abbildung 5).

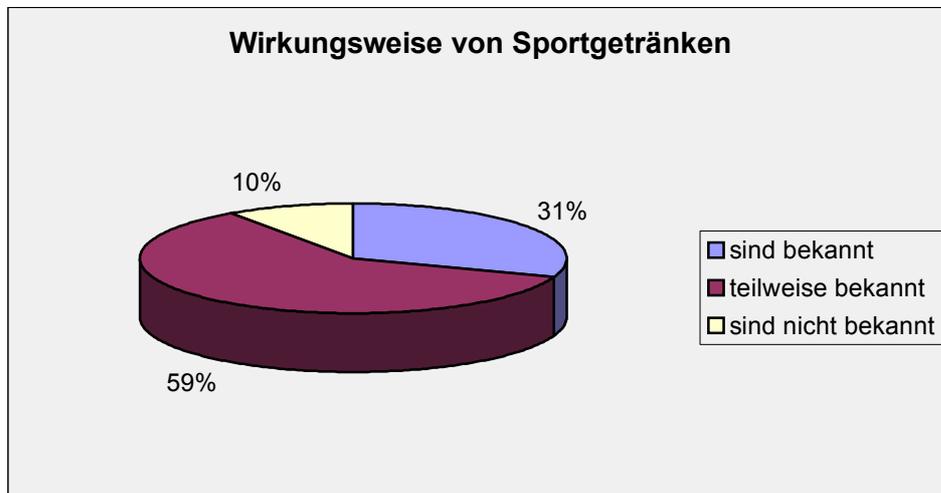


Abb. 5: Wirkungsweisen von Sportgetränken

Insgesamt haben 22 (31 %) Lehrer angegeben, dass ihnen die Wirkungsweisen von Sportgetränken bekannt seien. 43 (59 %) Lehrer haben „teilweise bekannt“ angekreuzt und 7 (10 %) Lehrer gaben an, dass ihnen die Inhalte nicht bekannt seien.

Obwohl es sich bei den Befragten um überwiegend erfahrene Kollegen handelte, haben die meisten „teilweise bekannt“ angegeben. Trotzdem hielten sie das Thema für wichtig und interessant für den Theorieanteil des Sportunterrichts. Daraus ist abzuleiten, dass gerade in diesem Bereich eine Unterstützung durch fachübergreifende Unterrichtsmaterialien gewünscht wird.

Untermuert wird diese Folgerung durch die nächste *Frage (Nr. 3)*, bei der die Lehrer direkt nach ihrem Interesse an Informationen über Zusammensetzung und Wirkungsweise der Sportgetränke gefragt wurde.

Die Antwort (s. Abbildung 6) ist eindeutig. 69 (88 %) Lehrer sagten, dass sie gerne Informationen über das Thema bekommen würden. Nur 9 Kollegen (12 %) haben dies abgelehnt. Ein Lehrer hat sowohl ja als auch nein angekreuzt.

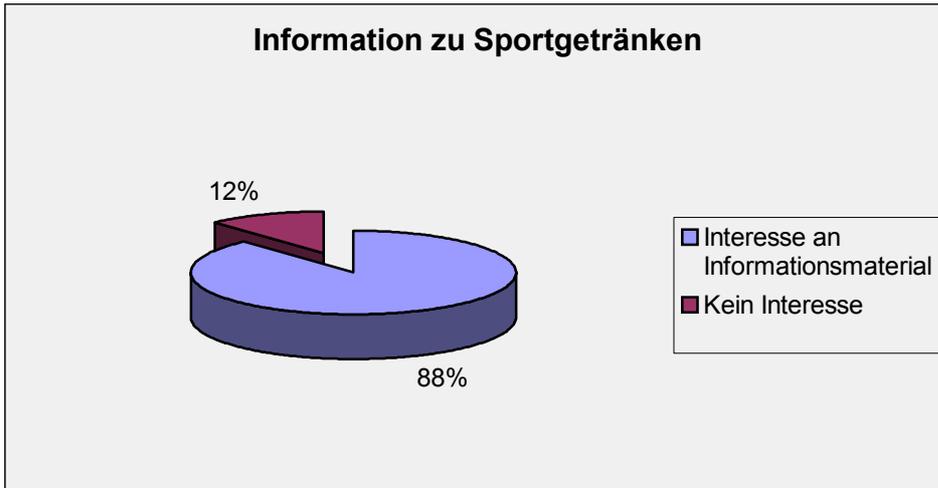


Abb. 6: Interesse an Informationsmaterial über die Zusammensetzung und Wirkungsweise von Sportgetränken

In *Frage 4* werden die Lehrer gefragt, wie groß der Theorieanteil im Sportunterricht ihrer Meinung nach sein sollte. Im neuen Lehrplan ist dieser mit 25 % vorgegeben. Die Frage zielt nicht darauf ab, diese Vorgabe in Frage zu stellen, zumal in den 25 % alle theoretischen Grundlagen wie Spielregeln, Spielfeldgröße, Spieltaktik usw. beinhaltet sind. Bis auf einen einzigen Lehrer hielten alle anderen einen Theorieanteil für notwendig.

Das ist eigentlich auch zu erwarten, denn schon mit der Erklärung des nächsten Sportspiels oder der nächsten sportlichen Tätigkeit fließen Theorieinhalte ein. Somit ist ständig eine Theorie-Praxis-Verknüpfung gewährleistet. Dies ist entscheidend für das Verständnis des Sports und macht einen großen Vorteil des neuen Lehrplans aus.

Während sich ein großer Teil der Theorieinhalte direkt auf das auszuführende Spiel oder die auszuführende sportliche Disziplin bezieht, sind die oben genannten Themen mit Chemie-Bezug als fachübergreifende Ergänzungen zu verstehen, die je nach Thema und aktueller Lage in den Unterricht aufgenommen werden können. Solche „Ergänzungen“ sind von großer Wichtigkeit für ein richtiges Sportverständnis, was durch die Umfrage auch bestätigt wird (s. Abbildung 7).

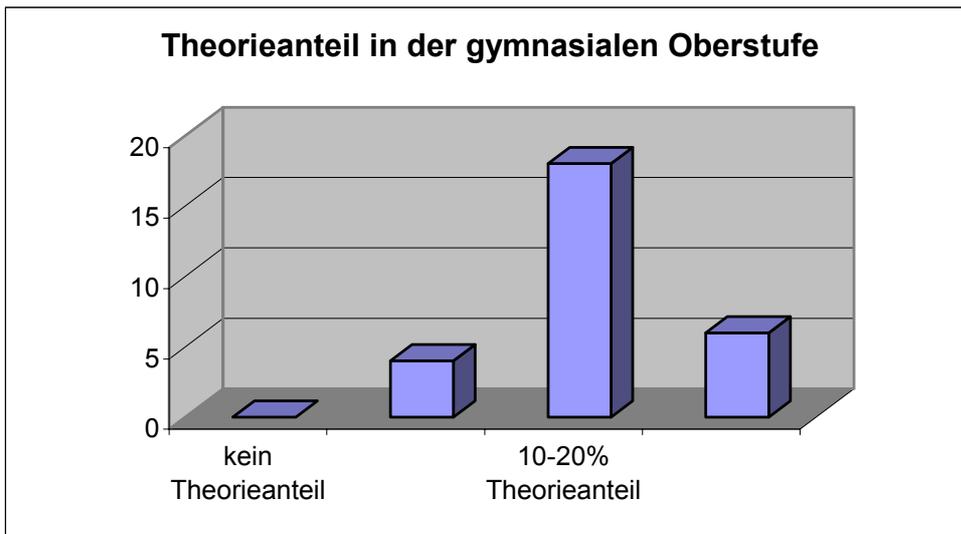


Abb. 7: Von den Lehrern gewünschter Theorieanteil im Sportunterricht in der gymnasialen Oberstufe

14 Lehrer (19 %) hielten einen Theorieanteil von 10 %, der Großteil der Lehrer (40; 53 %) einen von 10-20 %, 20 Lehrer (27 %) einen von über 25 % für angebracht.

Bei dieser Frage wurden häufig Erläuterungen gegeben. Einige Lehrer, die nur einen geringen Theorieanteil für angemessen hielten, meinten „Bewegung ist alles“ oder „Die Bewegungszeit sollte nicht noch durch Theorieunterbrechungen verkürzt werden“. Zwei Lehrer erläuterten, dass der Theorieanteil bei zweistündigen Kursen 10-20 % und bei dreistündigen Kursen 25 % betragen sollte. Einige Lehrer ergänzten: „Der Theorieanteil kann bei dreistündigen Kursen auch höher sein, aber bei zweistündigen Kursen ist, bedingt durch die Pausen, ein Auskühlen der Schüler und somit ein Nachteil vorhanden.“, und „bei zweistündigen Kursen sollte die Bewegung im Vordergrund stehen.“ Viele Lehrer erläutern, dass der Theorieanteil insbes. bei einem Leistungskurs über 25 % liegen sollte, zumal nach dem neuen Lehrplan zwei besondere Fachprüfungen pro Halbjahr durchzuführen und bei denen die sporttheoretischen und sportpraktischen Prüfungsinhalte mit 1:1 zu werten sind.

Ein großer Teil der Anmerkungen beschreibt, wie wichtig vielen Lehrern ein kognitiver Anteil im Sportunterricht ist: „Ein Theorieanteil über 20 % ist dringend erforderlich“, „Der wissenschaftspropädeutische Ansatz gilt für alle Fächer“. „Am Ende der Oberstufe muss neben der Handlungskompetenz auch eine Fachkompetenz vorhanden sein“. „Reflexionsphasen im Sport sind unumgänglich, weil nur durch kognitive Inhalte die Wirkungsweisen sinnvoll verstanden und verbessert werden können“.

Aus allen Bereichen haben Lehrer darauf aufmerksam gemacht, dass für die Theorie ein direkter Bezug zum behandelnden Thema vorhanden sein sollte oder ein direkter Bezug zu aktuellen Vorkommnissen (z. B. Dopingkandal) bzw. ein fächerübergreifender Bezug zu einem Fach wie Chemie, Biologie usw. gegeben sein sollte.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Notwendigkeit, theoretische Inhalte in den Sportunterricht zu integrieren, von allen Lehrern erkannt wurde. Auch anteilmäßig entsprachen die Vorstellungen der Lehrer im Großen und Ganzen den Vorgaben des neuen Lehrplans, der einen Bezug zur Praxis, zu aktuellen Geschehnissen und zur Behandlung von fächerübergreifenden Themeninhalten fordert.

Einige Lehrer nutzten die Rubrik „Eventuelle Erläuterungen“, um weitere Theorieinhalte anzugeben, die sie für besonders wichtig hielten. Eine solche Angabe war eigentlich unter Frage 1 (Sonstiges) und Frage 6 gedacht, soll aber hier noch angeführt werden:

- Wirkungsweise der sportlichen Bewegung auf den Körper
- Sportartspezifische Trainingslehre
- Bezug Sportpraxis und Sportmedizin

In *Frage 5* werden die Lehrer gefragt, ob sie meinen, dass die bei internationalen Sportveranstaltungen auftretenden Dopingfälle im Sportunterricht behandelt werden sollten. Diese Frage entspricht teilweise der ersten Frage, in der unter anderem gefragt wurde, ob das Thema Doping für den Theorieanteil des Sportunterrichts interessant sei. Nach Auswertung der Frage 1, bei der das Thema „Doping“ mit 59 % als interessanter Theorieinhalt gewählt wurde, war natürlich mit einer ähnlichen Zustimmung zu rechnen (s. Abbildung 8).

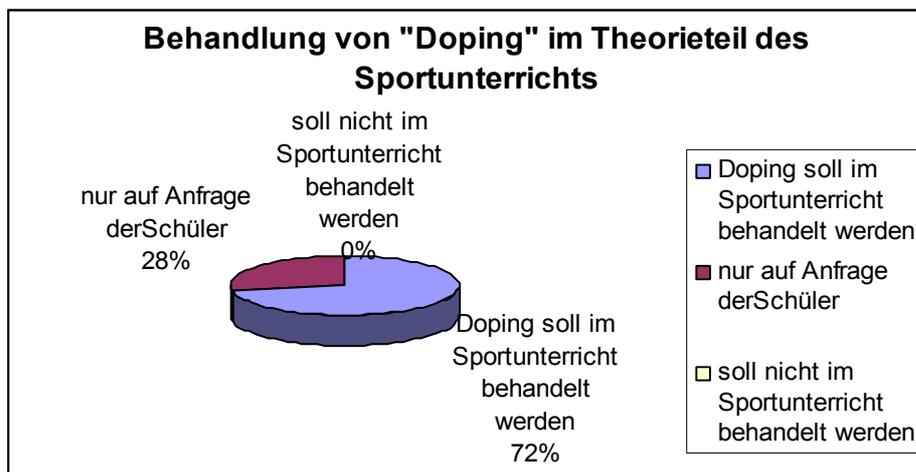


Abb.8: Behandlung des Themas „Doping“ im Theorieteil des Sportunterrichts

Wie zu erwarten, hielten 56 von 78 Sportlehrern (72 %) das Thema für wichtig. Dies entspricht dem Ergebnis von Frage 1. Anhand der Übereinstimmungen beider Fragen ist erkennbar, dass die Lehrer den Fragebogen gewissenhaft ausgefüllt haben und eine klare Meinung zu diesen Themen vertreten. Dies gilt auch für Frage 3.

In *Frage 6* werden die Kollegen gefragt, welche weiteren fachübergreifenden Themen aus „Chemie und Sport“ für sie interessant sind. Folgende Antworten wurden genannt:

- Einfluss von Alter, Geschlecht und Krankheiten auf den Sport (*Gesundheit*)
- Ernährungsphilosophie (*Ernährung*)
- Leistungsphilosophie (*Gesundheit*)
- Thema „Wasser“ einbeziehen (*Ernährung*)
- Zusammenhänge zwischen Bewegung und Gesundheit (*Gesundheit*)
- Zusammenhänge zwischen Ernährung und Sport (*Ernährung*)
- Adaption des Körpers auf Ausdauertraining (*Energiebereitstellung*)
- Werkstoffe in Sportgeräten (Karbon, Keramik usw.)

- Energiebereitstellung, Kurz-, Mittel-, Langstrecke (*Energiebereitstellung*)
- Energieumsatz, Laktatwert (*Energiebereitstellung*)
- Atmung O₂/CO₂, Pufferwirkung (*Ernährung/Energiebereitstellung*)
- Wann ist Sport Gesundheitsprophylaxe? (*Gesundheit*)

Zusammenfassend können folgende Themenschwerpunkte erkannt werden:

- Gesundheit (fünffache Nennung)
- Ernährung (neunfache Nennung)
- Energiebereitstellung (siebenfache Nennung)

Weitere Nennungen:

- Werkstoffe (zweifache Nennung)
- Hooligans und Fan-Kulturen

Die Antwortverteilung entspricht der Frage 1, allerdings hatten die Lehrer hier die Möglichkeit auch weitere Themen zu nennen, die nicht unbedingt aus der Fächerverbindung „Chemie und Sport“ stammten. Der Bereich „Doping“ wurde nicht explizit genannt. Es ist dennoch davon auszugehen, dass er hier vertreten ist. Zum einen haben die Lehrer in der vorhergehenden Frage mit 72 % die Wichtigkeit dieses Themas genannt, zum anderen ist es in allen drei mehrfachgenannten Themen enthalten.

Die *Frage 7* zielt direkt auf aktuelle Bezüge zum Bereich Energiebereitstellung und Doping. Es wurde gefragt, ob Anwendung und Wirkungsweise von Kreatin in einem Oberstufenkurs besprochen werden sollte (s. Abbildung 9).

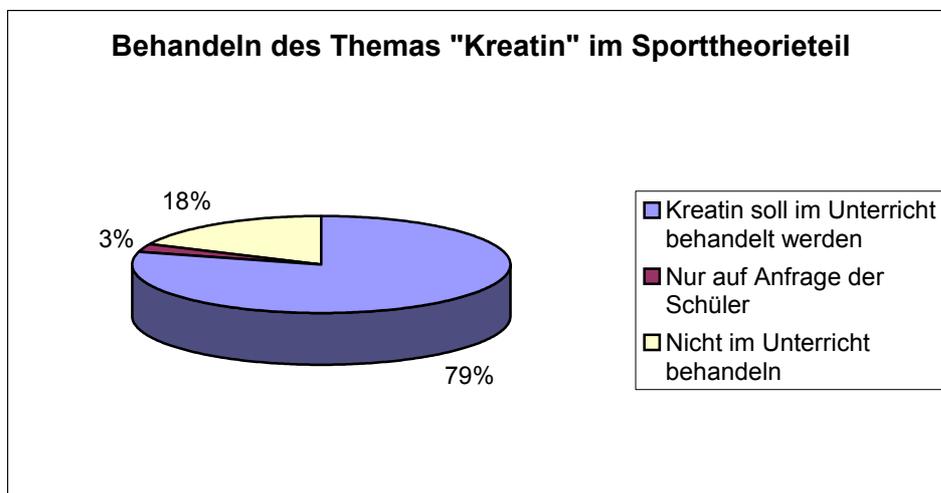


Abb. 9: Antwortverteilung auf die Frage, ob Anwendung und Wirkungsweise von Kreatin im Theorieteil des Sportunterrichts behandelt werden sollte.

57 (79 %) Lehrer hielten das Thema für wichtig. Zweimal wurde schriftlich vermerkt, dass Kreatin bereits im eigenen Unterricht behandelt wurde.

Zwei Lehrer merkten an, dass das Thema nur auf Anfrage der Schüler behandelt werden sollte. Ein weiterer Lehrer gab an, nichts mit Kreatin anfangen zu können und keinen Zusammenhang zum Sport zu erkennen. 13 (18 %) Kollegen meinten, dass das Thema nicht angesprochen werden sollte.

Auch *Frage 8* bezieht sich auf aktuelle Themen der Nahrungsergänzung. Gefragt wird, ob Jugendliche über „Fat-Burner“ aufgeklärt werden sollten. Fast alle Lehrer (95 %) waren der Meinung, dass man die Jugendlichen über diese Stoffe aufklären sollte. Vier Lehrer (5 %) gaben an, die Jugendlichen sollten für dieses Thema lediglich sensibilisiert werden.

Frage 9 behandelt die Veränderung des Sports durch den Einzug moderner Werkstoffe. Gefragt wurde nach der Meinung der Kollegen, ob man im Unterricht neben den Vorteilen auch eine kritische Reflexion über die Veränderung des Sports durch neue Materialien durchführen sollte. Als Beispiel wurde die Entwicklung des modernsten Adidas Fußballs (Roteiro) angeführt. Natürlich bezieht sich die Frage auf alle Sportarten, in denen die Verwendung moderner Materialien eine Veränderung mit sich bringt, z. B. Skilauf, Tennis usw. (sogar Schwimmen; s. Haifischhaut bei der Schwimmkleidung). Einige Kollegen haben deshalb auch auf den Zusammenhang zu allen Sportarten hingewiesen.

Für 56 (72 %) der Lehrer war es wichtig, die Veränderungen des Sports durch neue Materialien zu behandeln. Ein Lehrer erläuterte, „behandeln“ wäre zu ungenau, „sensibilisieren“ wäre passender. Ein anderer Lehrer führt an, dass die Sensibilisierung nur bedingt notwendig sei. 19 (24 %) Lehrer hielten es für nicht wichtig, den Einfluss neuer Materialien auf den Sport im Unterricht zu thematisieren (s. Abbildung 10).

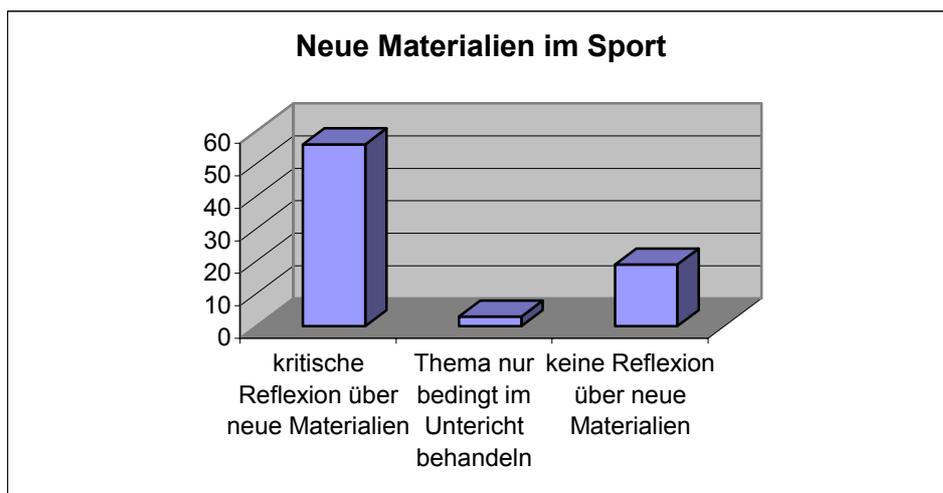


Abb. 10: Erfordernis kritischer Reflexionen über den Einfluss neuer Materialien im Sport

Das Ergebnis steht scheinbar in Widerspruch zu *Frage 6*. Hier haben die Lehrer nur zweimal „Werkstoffe für Sportgeräte“ als interessantes Thema für den Theorieanteil des Sportunterrichts genannt. Man muss wahrscheinlich unterscheiden, in wie weit das Thema behandelt werden soll. Wie aus den Hinweisen und Anmerkungen hervor geht, hält der Großteil der Sportlehrer es für wichtig, dass die Schüler über den Einfluss von High-Tech und neuen Werkstoffen im Sport sensibilisiert werden. Ein Lehrer nannte das Schlagwort „Over-Equipment“.

Die meisten Sportlehrer, die nicht die Fächerkombination Chemie und Sport haben, waren der Meinung, dass die inhaltliche Behandlung über Aufbau und Struktur von Kunststoffen o. ä. nicht in den Sportunterricht gehört. Chemie/Sport-Lehrer sind ebenfalls dieser Meinung. Sie sind aber an einer fachübergreifenden / fächerverbindenden

Aufarbeitung des Themas – vermutlich ausgehend vom Chemieunterricht – interessiert (vgl. Frage 12).

Die Fragen 10 und 11 richten sich nur an Kollegen mit der Fächerkombination Biologie/Sport und die Fragen 12 und 13 nur an Kollegen mit der Fächerkombination Chemie/Sport. (Insgesamt hatten von den Befragten 23 die Fächerkombination Biologie/Sport und 18 die Fächerkombination Chemie/Sport.)

Frage 10 bezieht sich darauf, in wie fern Lehrer mit der Fächerkombination Biologie und Sport an fächerübergreifenden Themen interessiert sind. Als Beispiele wurden „Stoffwechsel“ und „Ernährung“ genannt. Alle Kollegen (100 %) wollen gern Inhalte aus dem Biologieunterricht mit dem Sportunterricht verbinden. Dies entspricht den vorhergehenden Fragen und untermauert das große Interesse an fachübergreifenden und fächerverbindenden Unterricht.

In Frage 11 wurde die Meinung der Biologie/Sportkollegen zum Schwierigkeitsgrad der Themen: „Herzfrequenz“ und „Laktatwert“ gefragt. Die Frage lautete: Sind Sie der Meinung, dass die Behandlung dieser Themen zu kompliziert für den Theorieanteil im Sport der gymnasialen Oberstufe ist? Der überwiegende Teil der Befragten (17; 74 %) ist der Meinung, dass diese Themen nicht zu kompliziert für den Theorieanteil im Sport der gymnasialen Oberstufe sind. 6 Lehrer) sind der Ansicht, dass dies der Fall wäre. Allerdings haben von den sechs Lehrern zwei in einer Anmerkung darauf hingewiesen, dass die Themen nur in allen Feinheiten zu kompliziert wären. Dies entspricht der Verteilung der Themengebiete in Frage 1, bei der das Thema „Energiebereitstellung“ mit 82 % als wichtigstes Gebiet für den Theorieanteil im Sport genannt wurde (s. Abbildung 11).



Abb. 11: Antworten auf die Frage, ob Herzfrequenz und Laktatwert zu komplizierte Themen für den Theorieanteil des Sportunterrichts sind.

Es ist festzustellen, dass der überwiegende Teil der Lehrer die Meinung vertritt, dass solche Themen in den Theorieanteil eines Sportkurses der gymnasialen Oberstufe passen.

Da diese Themen auch im Lehrplan Biologie stehen, ist aus den Anmerkungen abzuleiten, dass die Lehrer, die die Behandlung im Sportunterricht für zu kompliziert halten, dennoch eine fachübergreifende Behandlung, z. B. über den Biologieunterricht, für richtig halten.

Die Frage wurde bewusst so formuliert, dass man nur bei genauem Durchlesen des Textes erkannte, welche Antwort zu wählen war.

Da die meisten Lehrer entsprechend den Antworten in den vorher gehenden Fragen das Thema als geeignet einstufen, kann man ableiten, dass sie nicht vorschnell Fragen mit „ja“ oder „eher ja“ ankreuzten.

Die *Frage 12* war nur an Lehrer mit der Fächerkombination: Chemie/Biologie gerichtet. Es wurde gefragt, ob die Lehrer Aufbau, Funktion und Wirkungsweise von Sportkleidung gerne im Unterricht behandeln würden. 11 (61 %) Chemie/Sport-Lehrer gaben an, das Thema gerne im Unterricht zu behandeln. Ein Lehrer erklärte, dass er das Thema situativ bedingt behandeln würde. 6 (33 %) Kollegen gaben an, dass sie das Thema nicht im Unterricht behandeln würden (s. Abbildung 12).

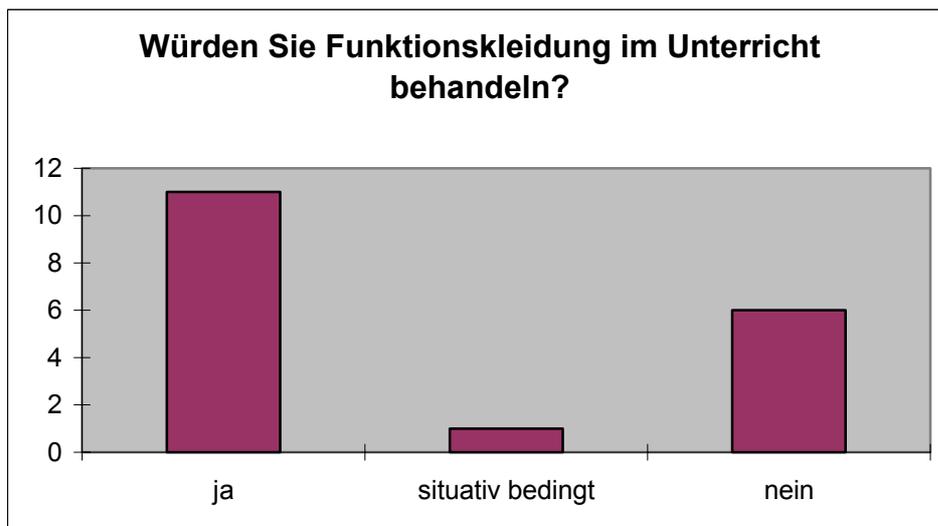


Abb. 12: Antwortverteilung auf die Frage, ob die Chemie/Sport-Lehrer atmungsaktive Funktionskleidung im Unterricht behandeln würden

Insgesamt ist zu sagen, dass der Großteil der Lehrer das Thema im Unterricht gerne behandeln würde.

Die letzte *Frage 13* bezieht sich ebenfalls auf einen fachübergreifenden Chemieunterricht. Die Chemie/Sportkollegen wurden gefragt, ob sie die Behandlung moderner Sportgeräte zum Einstieg der Behandlung der Kunststoffe in den Chemieunterricht verwenden würden. Hier wurde explizit der Chemieunterricht angesprochen. 13 (76 %) Lehrer waren der Meinung, dass sich Sportgeräte für den Einstieg in das Thema Kunststoffe eignen. 4 (24 %) Kollegen würden dieses Thema allerdings nicht für den Einstieg in das Kunststoffthema verwenden (s. Abbildung 13). Es ist deutlich, dass die meisten Chemie/Sport-Kollegen Sportgeräte als Einstieg in die Kunststoffchemie für geeignet halten. Ein Kollege, der Sportgeräte nicht als geeignet für den Einstieg sieht, merkt an, dass die Kunststoffe zu speziell wären.

(Der Bezug zum Sport ist nicht neu. In einigen Schulbüchern^{15, 16} wird auf Kunststoffe in modernen Fahrrädern, Skiern und Surfbrettern hingewiesen. Leider ist aber häufig nur ein Bild vorhanden und nicht genannt, welcher Kunststoff speziell verwendet wird. Versuche mit einem direkten Bezug zum Sportgerät werden leider nicht angeführt.)

Die Antwortverteilung entspricht erwartungsgemäß der der Frage 9 (s. o.), denn beide Fragen sind sich inhaltlich ähnlich. Die Frage 9 war für alle Sportkollegen bestimmt, die Frage 13 nur für Lehrer mit der Fächerkombination Chemie/Sport. Im ersten Moment könnte man meinen, dass die Sportlehrer ohne das Fach Chemie eine Sensibilisierung für den Einzug neuer Materialien in den Sport für wichtiger halten als die Kollegen mit der Fächerkombination Chemie/Sport. Dies ist nicht der Fall. Der Unterschied in der Fragestellung liegt darin, dass einmal die Veränderung des Sports durch die neuen Materialien thematisiert wird und ein andermal auch der Aufbau und die Struktur der Kunststoffe behandelt wird.

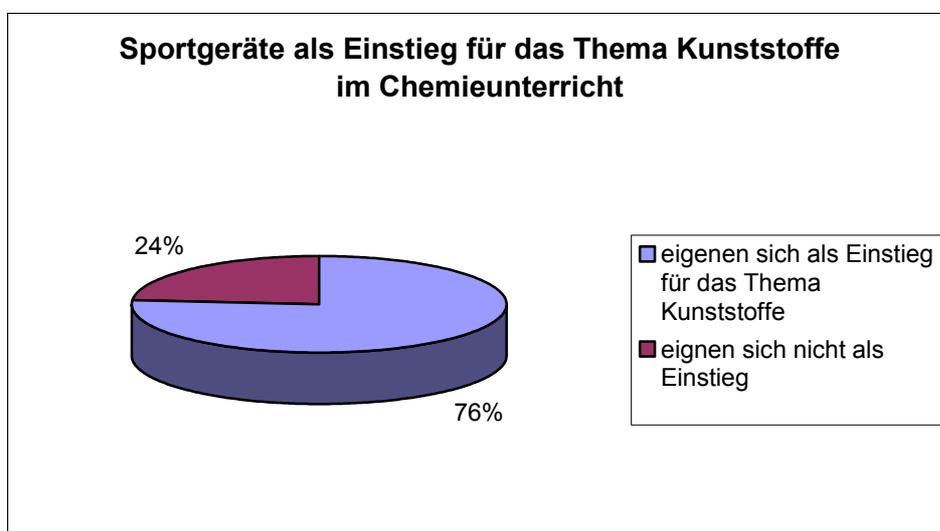


Abb. 13: Antwortverteilung auf die Frage, ob die Chemie/Sportkollegen das Thema: „Moderne Sportgeräte“ als Einstieg zur Behandlung der Kunststoffe im Chemieunterricht verwenden würden.

¹⁵ Asselborn, W. u. a.: Chemie heute, Sekundarbereich II, 5. Auflage, Schroedel, Hannover, 2002, S. 298 u. 314

¹⁶ Amann, W. u. a.: Elemente Chemie, Unterrichtswerk für die Sekundarstufe II, Klett, Düsseldorf, Berlin, Leipzig, 1. Auflage, 1994, S. 229

3 Zusammenfassung

Zunächst sei darauf hingewiesen, dass sich bei der Umfrage nur ein Teil der Sportlehrer Hessens (Gesamtzahl 81) beteiligt hat und dass deshalb nicht der Anspruch erhoben werden kann, eine in allen Bereichen repräsentative Umfrage zu fächer- und fachübergreifenden Inhalten aus den Bereichen Chemie und Sport durchgeführt zu haben. Dennoch können folgende Aussagen gemacht werden:

Den im Hessischen Lehrplan für die gymnasiale Oberstufe im Fach Sport (vom 3.6.2002) vorgesehenen Theorieanteil von 25 % im Sportunterricht hielten die Lehrer für angemessen. Zu neuen und didaktisch aufbereiteten Lehrmaterialien über die Bedeutung der Chemie im Sport äußerten sich die Lehrer sehr aufgeschlossen.

Lehrer mit allen Fächerkombinationen bekundeten starkes Interesse an den Themen „Energiebereitstellung beim Sporttreiben“ (82 %), „Nahrungsergänzung und Nahrungsmittelsubstitution“ (61 %) sowie „Doping“ (59 %).

79 % der Befragten hielten beispielsweise die Besprechung von „Kreatin“ für sinnvoll; 95 % waren der Meinung, dass Jugendliche über „Fat-Burner“ aufgeklärt werden sollten.

Für durchaus nicht für zu anspruchsvoll hielten es 74 % der Lehrer, im Sportunterricht das Thema „Anaerober Energiegewinnung und Laktat-Bestimmung“ zu behandeln, sofern nicht der biochemische Tiefgang angestrebt werde wie in einem Chemie-Leistungskurs.

Aus den Antworten ging nicht hervor, ob das Thema „Doping“ vorwiegend von seiner ethischen und wirtschaftlichen Dimension her angegangen, oder ob auch die relevanten Stoffe in Hinblick auf ihre Synthese, Analytik und Wirkungsweise diskutiert werden sollten.

Die meisten Sportlehrer meinten, dass den Jugendlichen der Einfluss moderner Kunststoffe auf den Sport bewusst gemacht werden sollte. Vertieftes Interesse an Themen wie „Funktion und Aufbau moderner Sportkleidung sowie anderer High-Tech-Kunststoffe im Sport“ zeigten allerdings nur die Sportlehrer, die gleichzeitig das Fach Chemie unterrichten. Tendenziell waren sie der Meinung, diese Themen bevorzugt von Chemieunterricht aus anzugehen. Mehrheitlich würden sie moderne Sportgeräte und Funktionskleidung aufgrund des Praxis- und Lebensbezugs der Schüler gerne zum Einstieg in das Thema „Makromolekulare und Kunststoffchemie“ nutzen. Einige Sport/Chemie-Lehrer waren hingegen der Meinung, die High-Tech-Produkte für den Sportsektor sollten erst im Anschluss an den klassischen Lehrstoff zur Kunststoffchemie behandelt werden.

Fragebogen: fachübergreifender Chemie/Sport-Unterricht

Bitte machen Sie folgende Angaben zu ihrer Person:

Alter:

	unter 30 Jahre	zwischen 30 und 40 Jahre	zwischen 40 und 50 Jahre	über 50 Jahre
bitte ankreuzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Geschlecht:

bitte ankreuzen weiblich männlich

Dienstjahre:

	unter 8 Jahren	8 bis 15 Dienstjahre	mehr als 15 Dienstjahre
bitte ankreuzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1) Welche Themengebiete halten Sie für den **Theorieanteil** im Sport für besonders interessant?

Nahrungsergänzung / Nahrungsmittelsubstitution	<input type="checkbox"/>
Doping	<input type="checkbox"/>
Energiebereitstellung im Sport	<input type="checkbox"/>
Moderne Kunststoffe in Sportgeräten	<input type="checkbox"/>
Funktion und Aufbau von Sportkleidung	<input type="checkbox"/>
Sonstiges (bitte eintragen)	

2) Die sogenannten Sportdrinks unterscheiden sich sehr in ihren Inhaltsstoffen und ihrer Wirkungsweise. Es gibt z. B. Energydrinks wie Red-Bull®, isotonische, hypotonische und hypertonische Elektrolytgetränke und Sauerstoffgetränke.

Sind Ihnen die Unterschiede und Wirkungsweisen dieser Getränke bekannt?

sind bekannt teilweise bekannt sind nicht bekannt

bitte ankreuzen

3) Würden Sie gerne Informationen über Zusammensetzung und Wirkungsweise der Sportgetränke bekommen?

Bitte ankreuzen ^{ja} ^{nein}

4) Meinen Sie, dass im Sportunterricht der gymnasialen Oberstufe ein Theorieanteil enthalten sein sollte?

bitte ankreuzen, wie hoch der prozentuale Anteil sein sollte

Kein Theorieanteil	10 % Theorieanteil	10 – 20 % Theorieanteil	über 20 % Theorieanteil
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Eventuelle Erläuterung:

5) Bei fast jeder internationalen sportlichen Großveranstaltung werden Dopingfälle bekannt. Meinen Sie, dass dieses Thema im Sportunterricht auch behandelt werden sollte?

bitte ankreuzen ^{ja} ^{nur auf Anfrage der Schüler} ^{nein}

6) Welche weiteren Themen aus dem Bereich „Chemie und Sport“ würden Sie für den Unterricht interessieren?

7) Kreatin gilt als erlaubtes Wundermittel im Sport. Meinen Sie, dass Anwendung und Wirkungsweise von Kreatin im Sporttheorieteil eines Oberstufenkurses angesprochen werden sollten?

Bitte ankreuzen ja nein

8) Sogenannte „Fat-Burner“ sind unter Bodybuildern sehr beliebt. Neuere Untersuchungen zeigen, dass diese Präparate bei den Jugendlichen immer mehr in Mode kommen. Meinen Sie, dass man die Jugendlichen über diese Stoffe aufklären sollte?

Bitte ankreuzen ja nein

9) Im Sport werden immer mehr High-Tech Produkte verwendet. Ein Fußball ist keine einfache Lederkugel mehr. Viele Jugendliche meinen, dass „richtiger“ Sport nur noch mit den neusten und besten Materialien möglich ist. Sie wollen z. B. nur noch mit dem neusten Adidas-Ball Fußball spielen. Meinen Sie, dass man im Unterricht neben den Vorteilen auch eine kritische Reflektion über die Veränderungen des Sports durch neue Materialien durchführen sollte?

Bitte ankreuzen ja nein

Die folgenden Fragen bitte nur von Kollegen mit der Fächerkombination **Biologie/Sport** beantworten.

10) Möchten Sie gerne Themen aus dem Biologieunterricht mit Inhalten aus dem Sport verbinden, um einen größeren Alltagsbezug für die Schüler herzustellen? (z. B. bei „Stoffwechsel und Ernährung“ im Biologieunterricht)

Bitte ankreuzen ja nein

11) Herzfrequenz und Laktatwert sind wichtige Faktoren in der Leistungsdiagnostik. Sind Sie der Meinung, dass die Behandlung dieser Themen zu kompliziert für den Theorieanteil im Sport der gymnasialen Oberstufe ist?

Bitte ankreuzen eher ja eher nein

Die folgenden Fragen bitte nur von Kollegen mit der Fächerkombination **Biologie/Sport** beantworten.

12) Atmungsaktive Funktionskleidung ist besonders im Ausdauersport sehr beliebt. Würden Sie den Aufbau und die Wirkungsweise der Kleidung auch gern im Unterricht behandeln?

Bitte ankreuzen ja nein

13) Ein Skifahrer oder Tennisspieler weiß, wie neue Entwicklungen bei den Kunststoffen den Sport beeinflussen. Würden Sie gern die Entwicklung neuer Sportgeräte zum Einstieg der Behandlung der Kunststoffe im Chemieunterricht verwenden?

bitte ankreuzen ja nein

Vielen Dank für Ihr Bemühen und Ihre Hilfe!

Bitte zurückschicken an:

Martin Holfeld
Kaufmännische Schulen Dillenburg
35683 Dillenburg
Uferstraße 22

Anhang 3:

Auswertung zur Schülerbefragung über die Unterrichtseinheit „Ernährung und Sport“

Im Herbst 2000 wurde das Projekt¹⁷ „Ernährung und Sport“ zum ersten Mal an den Beruflichen Schulen in Dillenburg durchgeführt. Beteiligt waren alle Kurse der Jahrgangsstufe 13 (3 Chemie-Kurse, insgesamt 58 Schüler).

Ziel des Projekts war, innerhalb von 6 Doppelstunden die Grundlagen der Ernährung und Energiebereitstellung zu vermitteln.

Methodische Vorüberlegung

- Es sollten möglichst viele Experimente durchgeführt werden.
- Die Experimente sollten so gewählt sein, dass die Schüler die Experimente, wenn möglich, selbst durchführen konnten.
- Die Experimente sollten auf die vermittelte Theorie aufbauen sich auf Alltagserfahrungen der Schüler beziehen.
- Die Schüler sollten über die eigene sportlicher Betätigung den Unterschied zwischen anaerober und aerober Energiebereitstellung erfahren.

Organisatorische Vorarbeiten

- Die Experimente mussten geplant und vorbereitet werden.
- Die notwendigen Chemikalien und Sportgetränke mussten besorgt werden.
- Die Sporthalle und das Außengelände musste für den sportpraktischen Teil reserviert werden.
- Schüler (oder falls sie noch nicht volljährig sind, ihre Erziehungsberechtigten), die am Lakatat-Test teilnahmen, mussten vorab eine schriftliche Einverständniserklärung unterschreiben.

¹⁷ Der Begriff „Projekt“ ist hier nur bedingt richtig. Eine genauere Erläuterung, siehe Seite 12.

Ausgangsbedingungen und Ziel der Schülerbefragung

Die Befragtengruppe setzte sich aus 58 Schülern der Jahrgangsstufe 13 des Beruflichen Gymnasiums zusammen. Die Schüler kamen aus drei Kursen. Ihre Vorkenntnisse waren gleich. Die Kurse wurden zeitgleich von drei Chemielehrern unterrichtet, die sich nach jeder Doppelstunde kurz absprachen und so seit der Jahrgangsstufe 11 die gleichen Themeninhalte behandelten. Die Klausuren waren ebenfalls abgestimmt.

Für die Durchführung des Projekts sollten die Kurse zusammen gleichzeitig von den Kursleitern unterrichtet werden. Da die Kurse in der Jahrgangsstufe 13 nicht mehr so groß waren, konnten alle drei Kurse gleichzeitig in zwei miteinander verbundenen Experimentierräumen arbeiten. Die Theorie wurde im Anschluss oder vorher in unterschiedlichen Räumen vermittelt. Der sportpraktische Teil wurde in der Sporthalle und auf dem Außengelände durchgeführt. Dies war möglich, weil ein Kursleiter gleichzeitig Sportlehrer war.

Ziele der Schülerbefragung

- Informationen über die Interessenschwerpunkte der Schüler zum Thema „Ernährung und Energiebereitstellung im Sport“ zu bekommen.
- Kenntnisse über die Vorkenntnisse der Schüler zu erhalten.
- Erkenntnisse über die Durchführung weiterer Projekte zu dem fachübergreifenden Themenbereich zu bekommen.
- Informationen zu erlangen, welche Experimente den Schülern besonders gut gefallen haben.
- Vorschläge für Verbesserungen für folgende Projekte zu bekommen.
- Informationen darüber zu erlangen, wie interessant das Thema Ernährung und Sport für die Schüler ist.

Durchführung der Umfrage

Die Schüler erhielten nach Abschluss des Projekts einen Fragebogen (siehe Seite 133), den sie innerhalb von 15 Minuten ausfüllen sollten.

Auswertung der Befragung

Die Befragtengruppe setzte sich aus 58 Schülern zusammen, von denen 28 (48 %) männlichen Geschlechts waren.

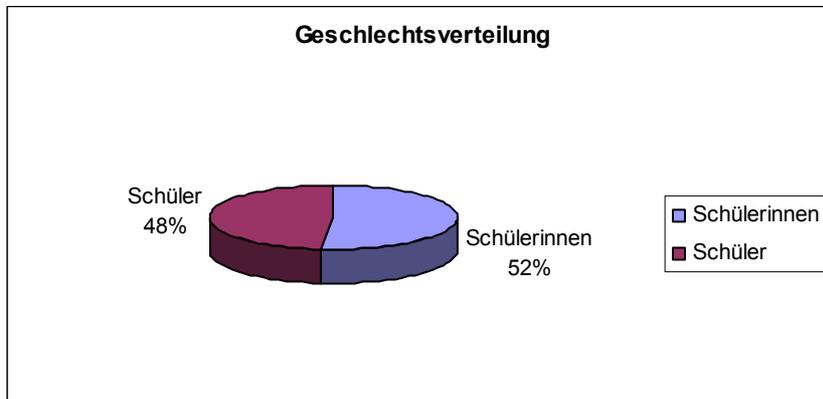


Abb. 1: Verteilung der Befragtengruppe nach Geschlecht

Die Altersbereich liegt zwischen 17 und 21 Jahren.

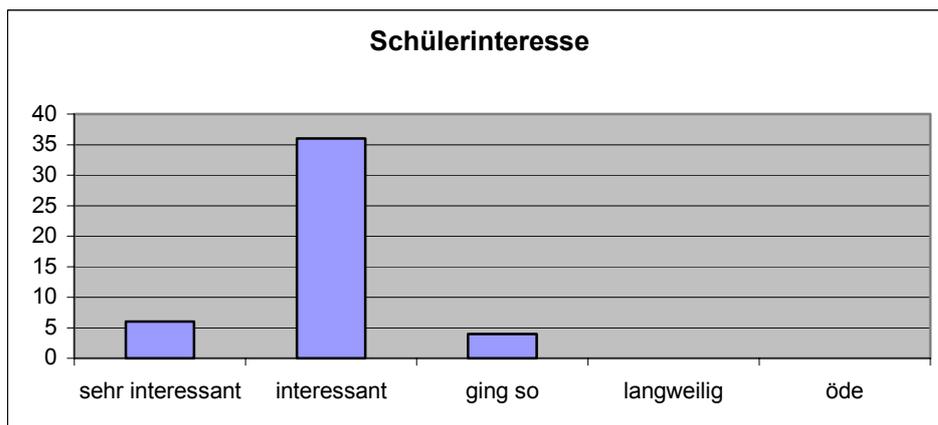


Abb. 2: Schülerinteresse

Auf *Frage 1*: Fanden Sie die Unterrichtseinheit interessant? haben 6 (10 %) den Inhalt als sehr interessant angegeben. Der Großteil, 36 Schüler (62 %), fand das Thema interessant. Nur vier Schüler (7 %) wählten „ging so“, kein Schüler fanden das Thema „langweilig“ oder „öde“.

Auf *Frage 2*: Wie fanden Sie die Experimente zur Unterrichtseinheit? Welche Experimente haben Ihnen besonders gefallen? wählten die meisten Schüler, 21 (36%), den Vitamin B1-Nachweis. Dieser Versuch wurde als besonders beeindruckend bezeichnet. (Allgemein sind Versuche mit Chemolumineszenz sehr beliebt.)

Der Silberspiegel wurde von 7 (12 %) Schülern als schönstes Experiment bezeichnet. Hier wurde von den Schülern zum einen die Möglichkeit genannt, dass der Versuch selbst durchgeführt werden konnte, und zum anderen, dass die versilberten Reagenzgläser nach dem Spülen mit nach Hause genommen werden durften.

Jeweils 3 Schüler (je 5 %) wählten den Vitamin C- und den Laktat-Nachweis. Beim Vitamin C-Nachweis wurde angegeben, dass neben den Sportdrinks auch viele Früchte (Paprika, Zitrone, Apfel) untersucht werden konnten.

Beim Laktat-Nachweis wurde der Bezug zur Praxis (Laktattests zur Leistungsdiagnose) genannt.

Der Kreatin-Nachweis (wurde 2000 noch nach der zuerst entwickelten Versuchsvorschrift durchgeführt, ab 2001 wurde eine bessere Variante eingeführt, s. Experimenteller Teil) und die Fehlingreaktion wurden nicht gewählt.

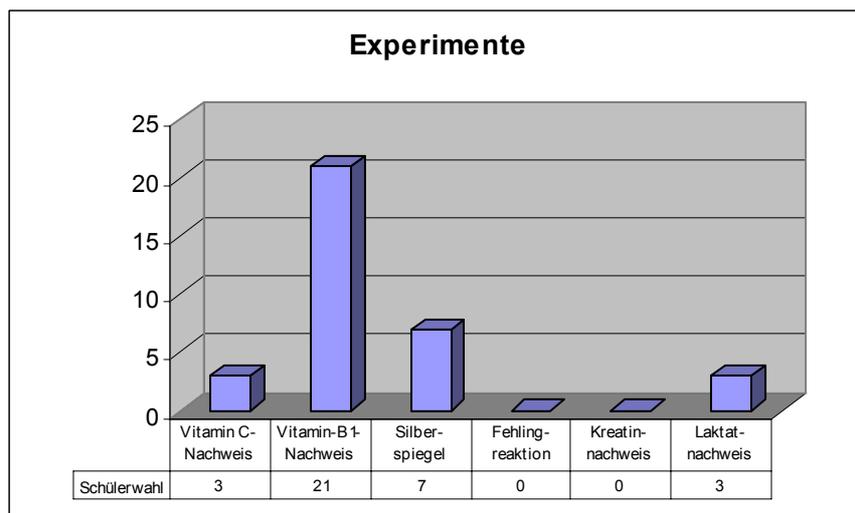


Abb. 3: Interesse der Schüler an den Experimenten

Da auch Mehrfachnennungen zulässig waren, haben 6 (10 %) Schüler alle Experimente als interessant gekennzeichnet. Zwei Schüler fanden alle Experimente uninteressant. Zwei Schüler hätten gern spektakulärere Experimente erlebt, z. B. Knalleffekte.

Frage 3 lautete: Finden Sie es richtig, auch einen praktischen Bezug, z. B. hier Laktatmessung, in die Unterrichtseinheit zu integrieren?

Hier hat der Großteil der Schüler 27 (48 %) den Bezug zur Sportpraxis als „sehr gut“, 17 (30 %) Schüler haben die Verknüpfung von Chemie und Sport mit „gut“ bezeichnet. Nur ein Schüler (2 %) bewertete die Kombination „mit ging so“. Die Kommentare: „bringt nichts“ und „langweilig“ wurden nicht gewählt.

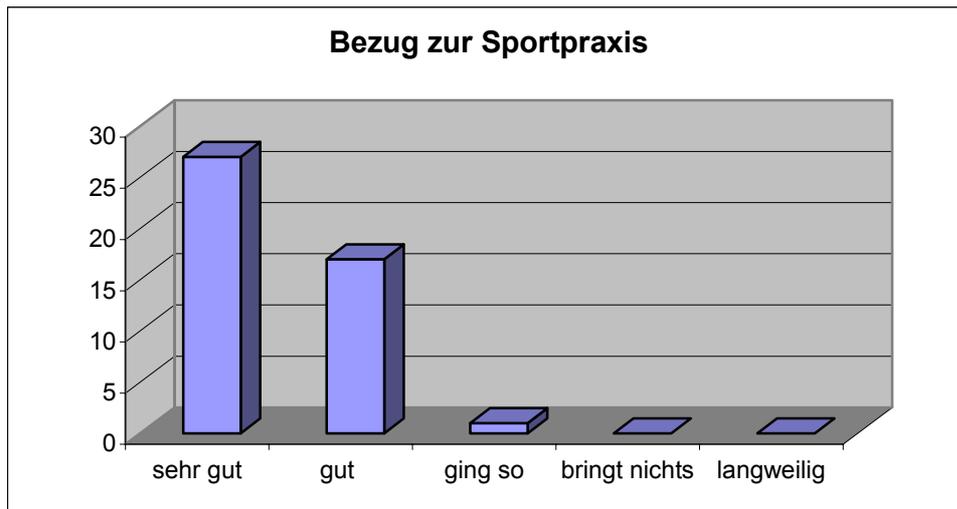


Abb. 4.: Schülerinteresse am Bezug zur Sportpraxis

Frage 4 bezog sich ebenfalls auf die Durchführung der Unterrichtseinheit. Sie lautet: Welche Aspekte haben Ihnen an der Unterrichtseinheit gefallen und welche nicht? Der Bezug zum Sport wurde von 25 Schülern (43 %) genannt. Dies war die höchste Anzahl an positiven Nennungen zur Unterrichtseinheit. Es folgten die Nennung gemeinsam durchzuführender Experimente (Schülerversuche in Kleingruppen von 3-4 Schülern) mit 13 (22 %) und der Alltagsbezug zu „Sport und Ernährung“ mit 12 (21 %) Nennungen. Zwei Schüler fanden positiv, dass die Themen relativ ausführlich behandelt wurden und dass komplexe Vorgänge wie der Zitronensäurezyklus oder die Laktatmessung einfach und verständlich dargestellt wurden.

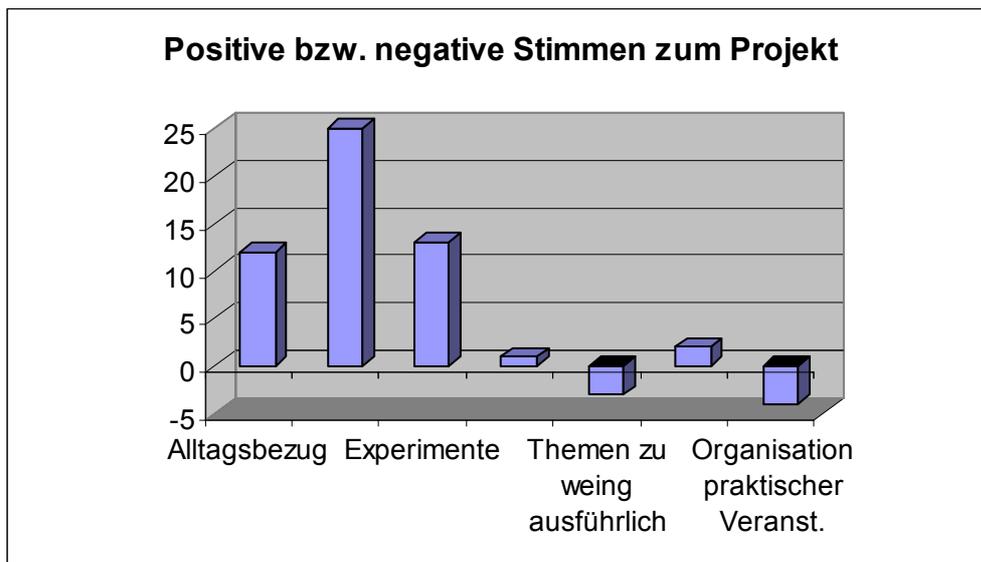


Abb. 5: Nennungen zur Frage, welche Aspekte den Schülern gefallen

Auf die *Frage 5* nach Verbesserungsvorschlägen antworteten 14 Schüler (24 %): mehr Versuche. 6 (10 %) Schüler fanden einen längeren Zeitraum für die Behandlung des Themas richtig und 2 (4 %) gaben an, mehr über die Funktion von Proteinen und Fetten bei der Ernährung erfahren zu wollen.

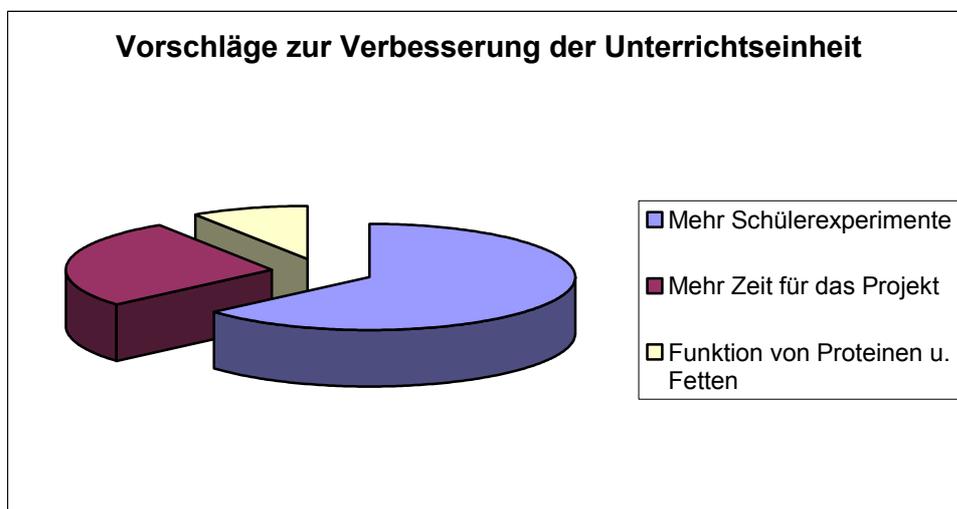


Abb.6: Vorschläge der Schüler zu Verbesserungen der Unterrichtseinheiten

Zur *Frage 6* nach weiteren Themen für fachübergreifende Unterrichtseinheiten gaben die Schüler an: Drogen, 4 (7 %) Nennungen; Ernährung, Aspekt Diäten für die Gesundheit, 7 (12 %) Nennungen; Kosmetika, 1 (2 %) Nennung; ABC-Waffen und weitere aktuelle Themen, 4 (7 %) Nennungen; Nervensystem und Gehirn, 1 (2 %) Nennung.

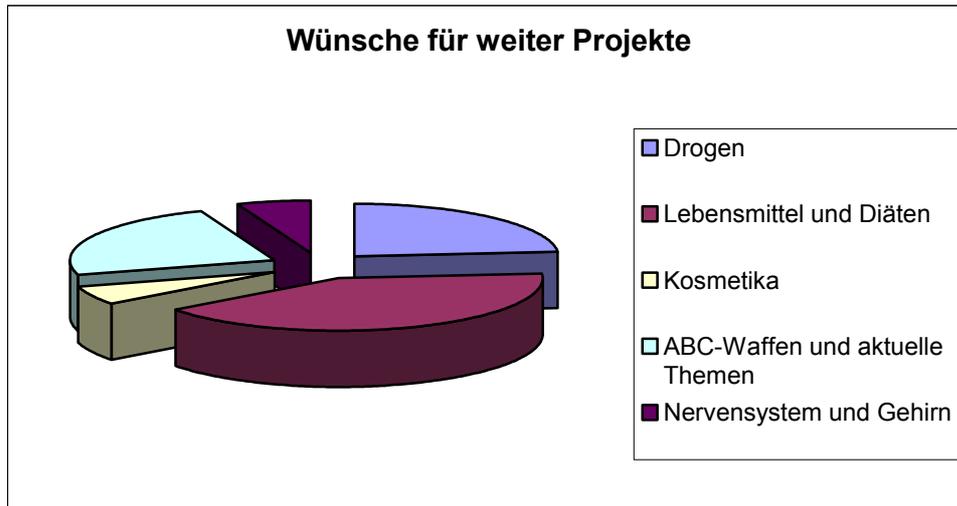


Abb. 7: Vorschläge zu weiteren fachübergreifenden Unterrichtseinheiten

Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt hat den Schülern sowohl wegen der Themenstellung als auch wegen der Durchführung und dem praktischen Bezug zum Sport sowie wegen der vielen Experimenten gefallen. Gerade der Bezug zum Sport ist von den Schülern immer wieder positiv genannt worden. Die Klausur zu diesem Thema fiel im Schnitt ca. 0,8 Punkte besser aus als die vorherigen Klausuren. An den Kaufmännischen Schulen in Dillenburg wurde darauf hin das Thema: „Energiebereitstellung und Sport“ in das Schulcurriculum integriert. Die Inhalte wurden von Jahr zu Jahr modifiziert und verbessert. Beispielsweise ist der Kreatin-Nachweis neu erarbeitet worden.

Insgesamt kann man feststellen, dass die Schüler der folgenden Jahre ebenfalls sehr positiv von dem Projekt angetan waren. Auch wenn nicht jedes Mal eine Fragebogenauswertung erfolgte, kamen sowohl von den Kollegen als auch von den Schülern viele positive Rückmeldungen, die sich in der hohen Motivation und der großen Arbeitsbereitschaft widerspiegeln.

Fragebogen zur Unterrichtseinheit Chemie und Ernährung

Schwerpunkt Energiebereitstellung und Nahrungsmittelsubstitution

1. Fanden Sie das Thema der Unterrichtseinheit interessant?

sehr interessant	interessant	ging so	langweilig	öde

2. Wie fanden Sie die Experimente zur Unterrichtseinheit? Hat Ihnen ein Experiment besonders gefallen?

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vitamin C-Nachweis- violett mit Tillmanns-Reagenz ➤ ➤ Vitamin B₁-Nachweis – Fluoreszenz ➤ ➤ Silberspiegel – Reaktion –Tollens – Reaktion ➤ ➤ Fehlingreaktion – rotbraune Farbe ➤ ➤ Kreatin-Nachweis mit Pikrinsäure – orange Farbe ➤ ➤ Laktatnachweis – violetter Ring <p>kurze Begründung</p>

3. Finden Sie es richtig auch einen praktischen Bezug, z.B. hier Laktatmessung in die Unterrichtseinheit zu integrieren?

sehr gut	gut	ging so	bringt nichts	langweilig

4. Welche Aspekte haben Ihnen an der Unterrichtseinheit gefallen und welche nicht?

**5. Haben Sie Vorschläge zur Verbesserung der Unterrichtseinheit?
Z. B. Inhalte, die Sie gern in die Unterrichtseinheit aufgenommen hätten, o. ä.**

6. Welche anderen Themen würden Sie gerne für einen fächerübergreifende Unterrichtseinheit behandeln?

Besten Dank!

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand in der Zeit von Juni 2002 bis Januar 2005 am Institut der Didaktik der Chemie der Justus-Liebig-Universität Gießen. Die ihr zugrunde liegenden Arbeiten wären ohne das Mitwirken zahlreicher Personen nicht möglich gewesen, denen ich an dieser Stelle herzlich danken möchte.

Zunächst danke ich Prof. Dr. H. GEBELEIN für die Betreuung meiner Arbeit, die zahlreichen fachlichen und arbeitsmethodisch wichtigen Hinweise sowie seine wertvolle und hilfreiche Unterstützung. Die Anregungen zu fachübergreifenden Fragestellungen haben mir viele neue Einblicke und Hilfen gegeben.

Herr Prof. Dr. WISKAMP vom Fachbereich Chemische Technologie der Fachhochschule Darmstadt unterstützte mich mit vielen inhaltlichen und redaktionellen Ratschlägen zur Gestaltung der Arbeit. Schon im Vorfeld hat er mir bei vielen Manuskripten mit inhaltlichen und methodischen Hinweisen geholfen. Durch seine stets freundliche und persönliche Art hat er mich oft ermutigt und motiviert. Ich möchte mich für die fachlich und persönlich rundum als hervorragend zu bezeichnende Atmosphäre bedanken.

Herrn Dipl.-Ing. WOLFGANG PROSKE möchte ich für viele experimentelle Ratschläge und die Überprüfung der erstellten Versuchsanleitungen sowie für die Durchführung einer Arbeitsgemeinschaft danken.

Dem Mitarbeiterteam des Instituts für Didaktik der Chemie der Universität Gießen, insbesondere Frau Dr. ANNETTE GEUTHER und Herrn HEIKO BARTH gebührt Dank für experimentelle Unterstützung und bei Lehrerfortbildungsveranstaltungen zum Thema „Chemie und Sport“ und dem *Fonds der Chemischen Industrie* für die Finanzierung dieser Kurse.

Herrn HANS. LUDWIG. KRAUSS danke ich für die gute Zusammenarbeit bei einem Kurs an der der Kinder- und Jugendakademie Südhessen e.V..

Der Direktor der Kaufmännischen Schulen in Dillenburg, Herr ECKERT, hat meinen Kollegen und mir freundlicherweise die Gelegenheit gegeben, an seiner Schule neue Konzepte zum fächerverbindenden Chemie/Sport-Unterricht in der Oberstufe zu erproben.

Das *Hessische Kultusministerium* erlaubte mir dankenswerterweise die Durchführung einer Lehrerbefragung zum Thema dieses Buches.

Meiner Mutter LUISE HOLFELD danke ich für die große Unterstützung bei den Korrekturen.