

# DIE CHEMIE IM SPORTSCHUH: EXPERIMENTE

Online-Ergänzung zum Artikel "Die Chemie im Sportschuh untersuchen und bewerten", Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule"

*Online-  
Ergänzung*

## Tabellarische Übersicht über die Versuche\*

Versuch	Zeitlicher Aufwand	SI/SII	Besondere Materialien	Besondere Chemikalien	Quelle/ weiterführende Informationen	Seite
Auftrennen eines Sportschuhs	ca. 20min	Sek I	- Rasierklinge bzw. Teppichmesser	- alter Sportschuh	Hollensen, L. (2006). Der Sportschuh. Ein bewegendes Stück Kunststoffchemie. PdN-ChiS 2/55, 29-32.	3
Elastizität (Verformbarkeit) von Sportschuhmaterialien	ca. 10min	Sek I	- Schraubenzieher - schweres Gewicht	- Sportschuhmaterialien		4
Elastizität (Zugfestigkeit) von Sportschuhmaterialien	ca. 10min	Sek I	- Sackwaage - Teppichmesser	- Sportschuhmaterialien		6
Abrieb der Laufsohle von Sportschuhen	ca. 5min	Sek I	- schweres Gewicht	- verschiedene Sohlen von Sportschuhen mit und ohne Profil		8
Erhitzen kleiner Proben von Sportschuhmaterialien	ca. 5min	Sek I	keine	- Materialien von Sportschuhen		9
Nadelprobe	ca. 15min	Sek I	- Stahlnadel mit Griff	- verschiedene Kunststoffproben - Sportschuhmaterialien	Wiehoczek, D. (2004). Nadeltest zur Identifizierung von Kunststoffen. Online unter: <a href="http://bit.ly/1il1rRQ">bit.ly/1il1rRQ</a> (09.01.14)	10
Dichte von Sportschuhmaterialien	ca. 10min	Sek I	- Teppichmesser	- Sportschuhmaterialien - Spülmittel	Vogt, A. (ohne Datum). Dichte von Kunststoffen. Online unter: <a href="http://bit.ly/1e5NIgL">bit.ly/1e5NIgL</a> (09.01.14)	11
Gore-Tex-Fasern	ca. 5min	Sek I	- Sympatex-Test-Kit	keine	Produkttests zum Gore-Tex-Material online unter: <a href="http://bit.ly/1cFiPhT">bit.ly/1cFiPhT</a> (09.01.14)	12
Sportschuhmaterialien auf Luftdurchlässigkeit testen	ca. 5min	Sek I	- Strohhalm - Feder	-Sportschuhmaterialien		13
Sportschuhmaterialien auf Regendurchlässigkeit testen	ca. 5min	Sek I	- Tesafilm - Schlauch	- Sportschuhmaterialien		14
Sportschuhmaterialien auf Wasserdampf-/Schweißdurchlässigkeit testen	ca. 5min	Sek I	- Handspiegel	- Schaft- und Sohlenmaterialien von Sportschuhen		15

Versuche	Zeitlicher Aufwand	SI/SII	Besondere Materialien	Besondere Chemikalien	Quelle/ weiterführende Informationen	Seite
Mikroskopischer Vergleich von Schaft- und Sohlenschaumstoffen	ca. 10min	Sek I	- Lichtmikroskop - Rasierklinge	- Sportschuhmaterialien	Hollensen, L. & Wambach, H. (Hrsg.) (2007). Materialien-Handbuch Kursunterricht Chemie. Band 10/2 – Lernen im Kontext II. Köln: Aulis, 212 – 223.	16
Schaft-/ Meshmaterial - Nylon oder Polyester?	ca. 5min	Sek I	keine	- Sportschuhmaterialien	ebd.	17
Herstellung eines Polyesters	ca. 10min	Sek I/II	keine	keine	Blume, R. (1994). Chemie für Gymnasien. Organische Chemie Themengebiet 1. Berlin: Cornelsen.	18
Herstellung von Polyamid-6,6/ Nylon	ca. 15min	Sek I/II	keine	keine	Haupt, P. (2004). Praktikum Experimentelle Schulchemie Sek. I. CvO Universität Oldenburg.	19
Herstellung eines Polyurethan-Schaums (Lehrerversuch)	ca. 10min	Sek I/II	- Holzspan - Plastikbecher - Alufolie	- Desmophen® - Desmodur®	Haupt, P. (2004). Praktikum Experimentelle Schulchemie Sek. I. CvO Universität Oldenburg.	21
Eigenschaften der Laufsohle untersuchen	ca. 10min	Sek I	keine	Sohlen von Sportschuhen		22
Gummi – Modellversuch Indoor-Sohle	ca. 4h	Sek I/II	keine	- 2-Mercaptobentothiazol (MBT) - Latex - Geschirrspülmittel		23
Gummi - Modellversuch Indoor-Sohle	ca. 4h	Sek I/II	keine	- 2-Mercaptobentothiazol (MBT) - Latex - Geschirrspülmittel	Bangemann, K. (1997): Herstellen von Gummi für Autoreifen (Modellversuch). Online unter: <a href="http://bit.ly/1cFpnNx">bit.ly/1cFpnNx</a> (09.01.14)	24
Eigenschaften von Schnürsenkeln untersuchen	ca. 5 min	Sek I	keine	Schnürsenkel von Sportschuhen		26
Schnürsenkelhalter untersuchen	ca. 5min	Sek I	keine	Schnürsenkelhalter aus Metall und aus Kunststoff		27

\* Die Zusammenstellung der Versuche geht in wesentlichen Teilen zurück auf die Examensarbeit „Experimente zur Chemie im Turnschuh“ von Rebecca Hasebrock, Universität Bremen, 2008.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 1: Auftrennen eines Sportschuhs

Betrachtet man den grundsätzlichen Aufbau eines Sportschuhs, so besteht dieser, wie auch jeder andere Schuh, aus vier Hauptkomponenten: Einem Schaft, welcher den Fuß umschließt, einer dem Schaft von unten angesetzten Brandsohle, einer dämpfenden Zwischensohle und einer Laufsohle, welche den Kontakt zum Untergrund herstellt.

### Sicherheitshinweis:

Vorsicht beim Umgang mit Messer und Schere!

### Geräte:

- Teppichmesser oder Rasierklinge
- Pinzette
- Spatel
- Schere
- Chemikalien:
- alter Sportschuh

### Durchführung:

Mit Hilfe der Rasierklinge und der Pinzette wird der alte Sportschuh in seine einzelnen Bestandteile zerlegt. Zunächst werden die Schnürsenkel und die Einlegesohle entnommen. Anschließend wird der Schaft vorsichtig mit dem Teppichmesser von der Sohle getrennt. Nun werden Stücke der verschiedenen Materialien aus den einzelnen Sportschuhbestandteilen geschnitten. Um möglichst große Stücke der unterschiedlichen Materialien zu erhalten muss sehr vorsichtig vorgegangen werden. Hierzu ist es hilfreich zunächst einen Keil in das Material zu schneiden, um eine saubere Schnittfläche zu erhalten. Anschließend wird der Aufbau eines Sportschuhs skizziert.

### Beobachtung:

Ein Sportschuh ist aus zahlreichen Materialien zusammengesetzt, die unterschiedlich beschaffen sind.

### Auswertung:

Bei der Sportschuhproduktion werden unterschiedliche Sportschuhmaterialien eingesetzt, die den jeweiligen Anforderungen des Sportschuhbereichs gerecht werden.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 2: Elastizität (Verformbarkeit) von Sportschuhmaterialien

Die Belastung, der ein Sportschuh ausgesetzt ist, darf nicht unterschätzt werden. Geht man zum Beispiel davon aus, dass ein Läufer 30 Kilometer pro Woche zurücklegt und seinen Laufschuh circa ein halbes Jahr trägt, so prallt jeder Schuh mehr als 250000 Mal auf den Boden, wobei die Wucht des Aufpralls jeweils rund 200 Kilogramm beträgt. Aus diesem Grund müssen die verschiedenen Sportschuhmaterialien, abhängig von den jeweiligen Anforderungen eine bestimmte Verformbarkeit bzw. der Elastizität aufweisen.

### Geräte:

- Schraubenzieher
- schweres Gewicht (mind. 10kg)

### Chemikalien:

Unterschiedliche Materialproben aus Sportschuhen

### Durchführung:

Die unterschiedlichen Sportschuhmaterialien wie Sohlenschaumstoff, Einlegesohle, Laufsohle, Schaftschaumstoff und Gelkissen werden auf ihre Verformbarkeit getestet. Dazu werden folgende Experimente durchgeführt und das Verhalten des jeweiligen Materials beobachtet:

1. Materialien mit Fingerkuppe eindrücken
2. Materialien mit Fingernagel eindrücken
3. Materialien mit Schraubenzieher und mittlerem Druck eindrücken
4. Materialien mit Schraubenzieher, bei maximalem Druck und mit Hilfe des Gewichtes eindrücken

### Beobachtung:

Die verschiedenen Materialien reagieren auf den ausgeübten Druck sehr unterschiedlich:

#### *Sohlenschaumstoff (Zwischensohle):*

1. Der Sohlenschaumstoff lässt sich auch durch relativ starke Krafteinwirkung nur minimal eindrücken. Er formt sich sofort wieder zurück.
2. Der Fingernagel lässt sich in den Sohlenschaumstoff drücken. Das Material geht schnell zur ursprünglichen Form zurück, jedoch bleibt der Abdruck des Fingernagels zu erkennen.
3. Das Material ist mit dem Schraubenzieher relativ leicht einzudrücken. Es verformt sich größtenteils zurück, wobei der Abdruck des Schraubenziehers zu sehen bleibt.
4. Der Sohlenschaumstoff lässt sich durch starke Krafteinwirkung erheblich eindrücken, jedoch entsteht kein Loch. Das Material formt sich zurück, nur der Abdruck des Schraubenziehers bleibt zu sehen.

#### *Einlegesohle:*

Die Einlegesohle verhält sich wie die Zwischensohle, wobei sie generell etwas leichter einzudrücken ist.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## *Laufsohle:*

1. Die Laufsohle ist mit der Fingerkuppe kaum bzw. nur minimal einzudrücken. Sie verformt sich sofort zurück.
2. Mit dem Fingernagel lässt sich das Material durch maximale Krafteinwirkung nur leicht eindrücken. Es formt sich sofort zurück, kein Abdruck des Fingernagels mehr zu erkennen ist.
3. Mit dem Schraubenzieher lässt sich die Laufsohle relativ leicht eindrücken, wobei sie sich vollkommen zurück formt.
4. Durch extreme Krafteinwirkung mit Schraubenzieher und Gewicht ist die Laufsohle gut einzudrücken. Der Abdruck ist danach kaum noch zu sehen.

## *Schaftschaumstoff:*

Der Schaftschaumstoff lässt sich sehr leicht eindrücken und geht nach der Krafteinwirkung sofort in seine ursprüngliche Form zurück. Er ist sehr weich. Bei Druckeinwirkung mit dem Schraubenzieher kann ein Loch im Material entstehen.

## *Gel-Kissen:*

1. Gel-Kissen sind schon mit der Fingerkuppe leicht einzudrücken. Sie verformen sich sofort zurück.
2. Das Material ist mit dem Fingernagel ebenfalls leicht einzudrücken, wobei sich bei der Druckeinwirkung das gesamte Kissen verformt. Es formt sich aber sofort zurück.
3. Mit dem Schraubenzieher kann das Gel-Kissen leicht und sehr weit eingedrückt werden. Es formt sich danach sofort zurück.
4. Durch extreme Krafteinwirkung kann das Gel-Kissen nahezu durchgedrückt werden, wobei kein Loch entsteht. Es verformt sich sofort zurück.

## **Auswertung:**

Die verschiedenen im Sportschuh verarbeiteten Materialien unterscheiden sich sehr stark in ihrer Verformbarkeit. Sie werden nach den jeweiligen Anforderungen ausgewählt und eingesetzt.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 3: Elastizität (Zugfestigkeit) von Sportschuhmaterialien

Sportschuhe sind u.a. beim Laufen extremen Belastungen ausgesetzt. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, besitzen die unterschiedlichen Sportschuhmaterialien einen gewissen Grad an Elastizität.

### Geräte:

- Sackwaage (Zugkraft bis 10kg)
- Lineal
- Schere
- Teppichmesser

### Chemikalien:

Unterschiedliche Materialproben aus Sportschuhen

### Durchführung:

Um die Flexibilität der unterschiedlichen Sportschuhmaterialien wie Leder (Schaft), Gore-Tex-Fasern (Schaft), Polyester (Schaftschaumstoff), Gummi (Laufsohle) zu testen, werden folgende Experimente durchgeführt und das Verhalten der Materialien beobachtet:

1. Die einzelnen Materialien werden mit den Händen in alle möglichen Richtung gedehnt bzw. auseinander gezogen. Hierbei wird der Krafteinsatz variiert.
2. Die Materialien werden in gleich große Stücke geschnitten (10cm lang, 3cm breit) und an einer Sackwaage befestigt. Es wird mit einer Zugkraft von 5 bzw. 10kg an dem Material gezogen und die Ausdehnung mit dem Lineal gemessen. Wichtig ist hierbei, dass nicht nur punktuell an einer Stelle des Materials, sondern am gesamten Material gezogen wird (z.B. indem gleichzeitig mit zwei Sackwaagen gezogen wird).

### Beobachtung:

Die unterschiedlichen Materialien lassen sich unterschiedlich weit auseinander ziehen bzw. dehnen.

#### *Leder (Schaft):*

Das Leder lässt sich relativ leicht in eine Richtung dehnen. In die andere Richtung ist eine Dehnung nicht möglich. Hier reißt es auch bei maximaler Krafteinwirkung nicht. Das Material geht nach der Krafteinwirkung sofort in seine ursprüngliche Form zurück.

Leichte Richtung:	5kg: 2,5cm Dehnung 10kg: Material reißt
Schwere Richtung:	5kg: keine Dehnung 10kg: keine Dehnung

#### *Gore-Tex-Faser (Schaft):*

Gore-Tex-Fasern lassen sich längs der Waben leicht auseinanderziehen, quer zu den Waben ist eine Dehnung nur schwer möglich. Nach der Dehnung zieht sich das Material sofort wieder zusammen. Die Fasern lassen sich nicht zerreißen.

Längs der Waben:	5kg: 0,5cm Dehnung 10kg: 1cm Dehnung
------------------	---

## Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

Quer der Waben:                    5kg: 0,2cm Dehnung  
    10kg: 0,4cm Dehnung

*Polyester (Schaftschaumstoff):*

Der Schaftschaumstoff reißt schon bei geringer Krafteinwirkung.

*Gummi (Laufsohle):*

Die Laufsohle lässt sich schon bei relativ geringer Krafteinwirkung auseinander ziehen. Sie zieht sich allerdings sofort wieder zusammen.

5kg: 1cm Dehnung

10kg: 2cm Dehnung

*Schnürsenkel:*

Die Schnürsenkel lassen sich nur minimal auseinander ziehen, sie gehen sofort in die ursprüngliche Form zurück.

5kg: 0,3cm Dehnung

10kg: 0,6cm Dehnung

**Auswertung:**

Die verschiedenen im Sportschuh verarbeiteten Materialien unterscheiden sich sehr stark in ihrer Elastizität. Sie werden nach den jeweiligen Anforderungen ausgewählt und eingesetzt.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 4: Abrieb der Laufsohle

Sportler brauchen die richtige Bodenhaftung auf dem Untergrund. Um diese Bodenhaftung durch die Sportschuhsohle zu gewährleisten greifen die meisten Sportschuhhersteller auf ein traditionelles Laufsohlenmaterial zurück: Das Gummi.

### Geräte:

- schweres Gewicht (mind. 10kg)

### Chemikalien:

- Laufsohlen von Sportschuhen mit Profil
- glatte Laufsohlen von Sportschuhen (z.B. Hallentennisschuh) oder einfaches glattes Gummi
- Einlegesohlen von Sportschuhen

### Durchführung:

Um den Abrieb der Laufsohle eines Sportschuhs zu untersuchen werden folgende Experimente durchgeführt:

1. Die Laufsohle wird mit den Händen fest auf eine glatte, ebene, möglichst helle und einfarbige Fläche (z.B. PVC- oder Spanplatte) gedrückt und hin und her geschoben. Dabei werden die entstandenen Rückstände beobachtet. Zum Vergleich wird anschließend dasselbe mit der Einlegesohle und einer glatten Sportschuhsohle oder einfachem glatten Gummi durchgeführt.
2. Das Gewicht wird auf die Laufsohle gelegt und die Sohle damit erneut auf einer glatten, ebenen, möglichst hellen und einfarbigen Fläche hin und her geschoben. Der Abrieb wird beobachtet. Zum Vergleich wird der Versuch erneut mit einer Einlegesohle und auch mit einer glatten Sportschuhsohle oder einfachem glatten Gummi durchgeführt.

### Beobachtung:

Bereits wenn mit Händen Druck auf die Sohle ausgeübt wird, kommt es zu Rückständen auf den ebenen Flächen. Es ist zu beobachten, dass es schwerer ist, die Sohle mit Profil hin und her zu bewegen als diejenige ohne Profil. Die Einlegesohle ist am einfachsten zu bewegen. Ähnliches ist bei maximaler Druckeinwirkung zu beobachten, wobei insgesamt mehr Abrieb entsteht und sich alle Sohlen schwerer bewegen lassen.

### Auswertung:

Um die für das Laufen notwendige Griffigkeit auf dem Untergrund durch die Sportschuhsohle zu gewährleisten, wird meist auf das traditionelle Laufsohlenmaterial Gummi zurückgegriffen. Laufsohlen von Sportschuhen bestehen in der Regel aus geschäumtem Gummi oder Karbongummi. Da geschäumter Gummi leichter ist und bessere Dämpfungseigenschaften besitzt als Karbongummi, er allerdings schneller verschleißt, bestehen die Sohlen der meisten Laufschuhe aus einer Kombination der beiden Materialien. Bei den Outdoor-Laufschuhen wird den Sohlen, ähnlich wie bei Autoreifen, Ruß zugesetzt, da dadurch ein Produkt mit höherer Abriebfestigkeit entsteht.

Das Profil der Laufsohlen beeinflusst die Rutschfestigkeit der Schuhe. So wird das Profil den jeweiligen Anforderungen der Sportart angepasst (z.B. Tennisschuh für Sandplätze – glatte Sohle).

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 5: Erhitzen kleiner Proben der Sportschuhmaterialien

Neben Kunstleder bestehen moderne Sportschuhe hauptsächlich aus verschiedenen Kunststoffen.

### Sicherheitshinweis:

Abzug!

### Geräte:

- Spatel
- Zange
- Bunsenbrenner

### Chemikalien:

Unterschiedliche Materialproben aus Sportschuhen

### Durchführung:

Es wird jeweils eine kleine Probe der Materialien in eine Zange geklemmt und mit einem Bunsenbrenner vorsichtig erhitzt. Die Veränderung der Probe wird beobachtet.

### Beobachtung:

Fast alle Proben der Sportschuhmaterialien werden beim Erhitzen schwarz.

### Auswertung:

Sportschuhe sind zum größten Teil aus Kohlenstoffverbindungen aufgebaut, dies ist daran zu erkennen, dass fast alle Proben beim Erhitzen schwarz werden.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 6: Nadelprobe

Neben Kunstleder bestehen moderne Sportschuhe hauptsächlich aus verschiedenen Kunststoffen. Möglichkeit diese Kunststoffe zu unterscheiden und zu identifizieren ist die Nadelprobe.

### Geräte:

- Stahlnadel mit Griff
- Bunsenbrenner

### Chemikalien:

- Kunststoffproben (z.B. PE; PP; PUR; PS; PVC)
- Unterschiedliche Materialproben aus Sportschuhen

### Durchführung:

Eine Stahlnadel mit Griff wird in der heißen Bunsenbrennerflamme erhitzt und in die Sportschuhmaterialien und die Kunststoffproben gestochen. Es wird vorsichtig (Dampf nur zufächeln!) an der Einstichstelle geschnuppert.

### Beobachtung:

Die Proben der Sportschuhmaterialien und der Kunststoffe riechen nach dem Einstich unterschiedlich.

### Auswertung:

Zur Stoffunterscheidung und Stofferkennung kann man die Nadelprobe heranziehen:

- PE und PP riechen nach heißem Kerzenwachs
- PUR und Aminharze riechen fischig
- Phenolharze riechen nach dem Desinfektionsmittel Phenol
- PS riecht unangenehm süßlich
- PVC riecht stechend nach Salzsäure

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 7: Dichte von Sportschuh-Materialien

Da Kunststoffe zum Beispiel im Verhältnis zu Metallen eine relativ geringe Dichte haben, werden sie oft verwendet um die Masse der Produkte zu verringern. So kann durch die geringe Dichte von Kunststoffen zum Beispiel im Fahrzeugbau, in der Verpackungsindustrie und auch bei Sportgeräten Gewicht reduziert werden.

### Geräte:

- Teppichmesser
- Spatel
- Becherglas

### Chemikalien:

Unterschiedliche Materialproben aus Sportschuhen, destilliertes Wasser, Spülmittel, Kochsalz

### Durchführung:

Zunächst werden aus den unterschiedlichen Materialien des Sportschuhs gleich große Stücke geschnitten.

Anschließend wird das Becherglas bis zu Hälfte mit destilliertem Wasser gefüllt, ein Spritzer Spülmittel hinzugegeben und die Proben hineingelegt. Nun wird behutsam so viel Kochsalz hinzugegeben, bis die Proben aufsteigen.

### Beobachtung:

Nach der Zugabe des Salzes steigen die Materialien nacheinander auf.

### Auswertung:

Wasser hat eine Dichte von  $1\text{g/cm}^3$ . Die Materialien, die auf dem Wasser schwimmen, haben eine Dichte, die kleiner ist als  $1\text{g/cm}^3$ . Das Material mit der größten Dichte steigt zuletzt auf.

Kunststoffe (Dichte:  $0,9\text{g/cm}^3$  –  $1,4\text{g/cm}^3$ ) besitzen im Verhältnis zu Metallen (Dichte: Aluminium  $2,7\text{g/cm}^3$ ; Kupfer  $8,9\text{g/cm}^3$ ; Stahl  $7,6\text{g/cm}^3$ ) eine geringe Dichte. Aus diesem Grund werden Kunststoffe in der Praxis oft verwendet um die Masse der Produkte zu reduzieren. So kann zum Beispiel im Fahrzeugbau, in der Verpackungsindustrie und auch bei Sportgeräten unnötige Masse eingespart werden.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 8: Gore-Tex-Fasern

### Geräte und Chemikalien:

- Bunsenbrenner
- Dreifuß
- Becherglas
- Sympatex-Test-Kit

### Durchführung:

Zunächst wird etwas Wasser auf eine Seite einer Sympatex-Membran getropft und die Reaktion beobachtet.

Anschließend wird das Wasser im Becherglas fast bis zum Kochen erhitzt und das Sympatex-Test-Kit mit der Membran nach unten auf das Becherglas gelegt. Nun öffnet man das Test-Kit und beobachtet die Reaktion am Spiegel.

### Beobachtung:

Die Membran lässt von außen kein Wasser durch. Von Innen kann der aufsteigende Dampf die Membrane durchdringen. Der Spiegel beschlägt.

### Auswertung:

Durch die eingearbeitete Membran sind Gore-Tex-Fasern wasserundurchlässig. Sie lassen jedoch aufsteigenden Wasserdampf entweichen.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 9: Materialien von Sportschuhen auf Luftdurchlässigkeit testen - Partnerversuch-

Zwar müssen moderne Sportschuhe einerseits den verdampfenden Schweiß nach außen abgeben können, jedoch müssen sie den Sportler andererseits auch vor Kälte und Wind schützen, um eine Unterkühlung zu vermeiden.

### Geräte:

- Strohhalme
- Feder

### Chemikalien:

Unterschiedliche Materialproben aus Sportschuhen

### Durchführung:

Um die Luftdurchlässigkeit der unterschiedlichen Materialien eines Sportschuhs zu testen, wird von einem Schüler bzw. einer Schülerin das zu testende Material an das eine Ende des Strohhalmes gehalten und unterschiedlich stark Luft durch diesen geblasen. Währenddessen hält der Partner bzw. die Partnerin die Feder auf die andere Seite des Materials und beobachtet die Reaktion der Feder.

### Beobachtung:

Bei einigen Materialien bewegt sich die Feder, bei anderen kommt es zu keiner Bewegung.

### Auswertung:

Die Schaftmaterialien eines modernen Sportschuhs sind luftdurchlässig. Sie lassen eine Luftzirkulation innerhalb des Sportschuhs zu, um übermäßiges Schwitzen zu vermeiden. Zur weiteren Stärkung der Luftzirkulation befinden sich im Schuhschaft immer häufiger auch kleine Löcher. Die Sohle von Sportschuhen besteht aus luftundurchlässigen Materialien.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 10: Materialien von Sportschuhen auf Regendurchlässigkeit testen

Moderne Sportschuhe müssen allen Wettergegebenheiten gerecht werden. Sie müssen Regetropfen abstoßen, damit die Schuhe nicht schwer werden und beim Sportler kein Nässegefühl entsteht.

### Geräte:

- Becherglas
- Tesafilm
- Schlauch
- Pipette

### Chemikalien:

- Wasser
- Unterschiedliche Materialproben aus Sportschuhen

### Durchführung:

Die Materialien werden mit Tesafilm so auf dem Becherglas befestigt, dass die Öffnung des Becherglases verschlossen ist. Anschließend wird zunächst mit einer Pipette tropfenweise Wasser auf das Material gegeben und beobachtet was dann passiert.

Anschließend wird der Druck des Wasserstrahls gesteigert, indem ein Wasserstrahl aus der Pipette gedrückt wird. Es wird erneut beobachtet.

### Beobachtung:

Zum Teil sickert das Wasser durch die Materialien ins Becherglas (Schaffmaterialien), zum Teil wird das Wasser förmlich aufgesaugt (Schaffschaumstoffe) und andere Materialien sind wasserabweisend (Laufsohle).

### Auswertung:

Die Sohle von Sportschuhen besteht aus Materialien, die wasserundurchlässig sind, so dass man, wenn man durch eine Pfütze läuft, nicht gleich einen nassen Fuß bekommt.

Die Schaffmaterialien sind zum Teil ebenfalls wasserabweisend, wobei die verschiedenen Schaumstoffe das Wasser aufsaugen und bei einer großen Menge Wasser wasserundurchlässig sind.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 11: Materialien von Sportschuhen auf Wasserdampf- / Schweiß-durchlässigkeit testen - „atmungsaktiv“

Damit im Sportschuh kein Wärmestau entsteht, müssen die Schaftmaterialien den verdampfenden Schweiß nach außen leiten können.

### Geräte:

- Bunsenbrenner
- Dreifuß
- kleines
- Handspiegel

### Chemikalien:

- Wasser
- Schaft- und Sohlenmaterialien eines Sportschuhs

### Durchführung:

Das Wasser wird im Becherglas fast bis zum Kochen erhitzt und die Testmaterialien nacheinander auf das Becherglas gelegt, wobei sichergestellt werden muss, dass das Becherglas vollständig bedeckt ist. Nun wird ein Spiegel oberhalb neben das Becherglas gehalten und die Reaktion am Spiegel bei den verschiedenen Materialien beobachtet.

### Beobachtung:

Bei einigen Materialien kann der aufsteigende Dampf die Membran durchdringen (bestimmte Schaftmaterialien z.B. Gore-Tex-Fasern). Der Spiegel beschlägt. Bei anderen Materialien ist keine Reaktion am Spiegel ersichtlich. Der aufsteigende Dampf kann die Membran nicht durchdringen.

### Auswertung:

Besondere Materialien (z.B. Gore-Tex-Fasern) im Schaft des Sportschuhs sind wasserdampfdurchlässig.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 12: Mikroskopischer Vergleich von Futter- und Sohlen-Schaumstoffen

Da der Fuß beim Sporttreiben großen Belastungen ausgesetzt ist müssen Sportschuhe die natürlichen Dämpfungsmechanismen des menschlichen Körpers ergänzen. Dies geschieht durch Zwischensohlen aus Polyethylenvinylacetat-Schaum (EVA). Außerdem verhindert ein weiches Schaffutter aus Polyurethan-Schaum (PU), dass man sich im Schuh „Blasen“ läuft.

### Geräte:

- Lichtmikroskop
- Objektträger
- Rasierklinge
- Pinzette

### Chemikalien:

Unterschiedliche Materialproben aus Sportschuhen

### Durchführung:

Mit der Rasierklinge und der Pinzette werden der Zwischensohle sowie dem Schaumstoff-Futter im Schaftbereich vorsichtig Proben entnommen. Hierzu wird zunächst ein Keil ins Material geschnitten, um eine saubere Schnittfläche zu erhalten. Anschließend wird auf dieser Fläche eine möglichst dünne Schicht geschnitten und auf den Objektträger gelegt. Es wird bei mittlerer Vergrößerung mikroskopiert.

### Beobachtung:

Futter- und Sohlen-Schaumstoffe unterscheiden sich in der Schaumstruktur.

### Auswertung:

Der Futterschaumstoff zeigt große, offene Zellen, während die Zellen der Sohle kleiner und geschlossen sind.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 13: Meshmaterial – Nylon oder Polyester

Der Schaft von Sportschuhen besteht heutzutage hauptsächlich aus den Oberflächenmaterialien Kunstleder und Mesh. In dem folgenden Versuch wird das Mesh näher betrachtet. Es besteht aus einem losen Nylon- oder Polyesterfließ und ist gemäß der Anforderungen an einen Sportschuh leicht und luftdurchlässig.

### Sicherheitshinweise:

- Abzug!, keine Geruchsprobe

### Geräte:

- Bunsenbrenner
- Reagenzglasklammer
- Reagenzglas (trocken!)
- Tiegelzange

### Chemikalien:

- Alter Sportschuh
- Indikatorpapier
- Wasser

### Durchführung:

Zunächst wird dem Sportschuh Meshmaterial (loses Nylon- oder Polyesterfließ) entnommen und das Reagenzglas damit bis zu einer Höhe von ungefähr 1cm gefüllt. Das Reagenzglas wird in die Brennerflamme gehalten. Nach einiger Zeit wird mit der Tiegelzange ein angefeuchtetes Stück des Indikatorpapiers in die Öffnung des Reagenzglases gehalten.

### Beobachtung:

Die gasförmigen Zersetzungsprodukte des Polyamids (Nylon) reagieren basisch, die des Polyesters sauer.

### Auswertung:

Bei diesem Versuch werden die überprüften Kunststoffe thermisch in feste und gasförmige Produkte zersetzt. Häufige gasförmige Zersetzungsprodukte sind  $\text{NH}_3$ , Amine ( $\text{R-NH}_2$ ),  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  und Terephthalsäure. Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid entstehen in beiden Fällen und tragen zur Bildung einer sauren Lösung bei. Bei der Zersetzung des stickstoffhaltigen Nylonmoleküls entsteht zudem das basisch reagierende Ammoniak, so dass hier „unterm Strich“ eine alkalische Lösung angezeigt wird. Polyester zerfällt hingegen unter anderem zur Terephthalsäure, weshalb der Indikator eine saure Lösung anzeigt..

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 14: Herstellung eines Polyesters

Der Schaft von modernen Sportschuhen besteht neben Kunstleder hauptsächlich aus Mesh, welches ein loses Polyester- oder Nylonfließ ist.

### Geräte:

- Becherglas 50ml
- Dreifuß
- Bunsenbrenner

### Chemikalien:

Citronensäure

H: 318, P: 305+351+338, 311



### Durchführung:

In einem Becherglas werden einige Gramm feste Citronensäure so lange erhitzt, bis die Gasentwicklung geringer wird und sich die Schmelze dunkelgelb färbt. Dann lässt man die Schmelze langsam abkühlen und erhält einen halbfesten Kunststoff.

### Auswertung:

Die Reaktion von monomeren Citronensäuremolekülen zu einem Polyester ist eine Polykondensation. Während einer Kondensationsreaktion verbinden sich zwei Moleküle unter Abspaltung eines kleineren Moleküls miteinander, wie z. B. bei der Esterbildung aus Säure und Alkohol:

Voraussetzung für die Polykondensation ist, dass die Monomere mindestens 2 funktionelle Gruppen im Molekül besitzen. Die Citronensäure besteht aus solchen Molekülen: Sie weisen sowohl Carboxylgruppen (COOH-Gruppen) als auch eine Alkoholgruppe (OH-Gruppe) auf. Deshalb ist die Citronensäure geeignet, einen Polyester zu bilden:

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

## Versuch 15: Herstellung von Polyamid-6,6 / Nylon

Der Schaft von modernen Sportschuhen besteht neben Kunstleder hauptsächlich aus Mesh, welches ein loses Nylon- oder Polyesterfließ ist. Nylon spielt im Sport ebenso als Bespannung von Tennis-, Badminton- und Squashschlägern eine wichtige Rolle.

### Sicherheitshinweise:

- Kittel, Handschuhe, Schutzbrille
- Geräte:
- 3 Pipetten (5ml)
- 2 Bechergläser (100ml schmale Form)
- 1 Glasstäbe
- Messzylinder (100ml)
- 1 Pinzette
- Spatel

### Chemikalien:

#### Hexamethyldiamin

H: 312, 302, 335, 314, P: 261, 280, 305+351+338, 310



#### Natriumhydroxid-Plättchen

H: 314, 290, P: 280, 301+330+331, 309+310, 305+351+338



#### Phenolphthalein, 0,1% ige-Lösung

H: 350, 341, 361f, P: 201, 281, 308+313



#### Sebacinsäuredichlorid

H: 302, 314, 335, P: 280, 302+350, 301+330+331, 305+351+338, 310



#### Heptan

H: 225, 304, 315, 336, 410, P: 210, 273, 301+310, 331, 302+352, 403+235



#### Wasser

### Durchführung:

In einem Becherglas werden 0,55g Hexamethyldiamin in 45ml Wasser gelöst. Anschließend werden zwei NaOH-Plättchen hinzugegeben und die Lösung mit wenig Phenolphthalein angefärbt.

Im zweiten Becherglas wird eine Lösung von 1ml Sebacinsäuredichlorid in 20ml Heptan hergestellt.

Nach der Herstellung der beiden Lösungen wird die erste Lösung vorsichtig mit der zweiten überschichtet.

### Beobachtung:

Nach dem Überschichten entsteht eine dünne Haut an der Grenzfläche der beiden Lösungen. Diese kann mit einer Pinzette herausgezogen und auf dem Glasstab aufgewickelt werden.

## Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

### **Entsorgung:**

Das Polyamid wird noch feucht mit der Pinzette von dem Glasstab abgestreift, mit Alkohol/Brennspiritus gewaschen und auf einem Filterpapier unter dem Abzug getrocknet. Das im Trockenen spröde Produkt kann als Hausmüll entsorgt werden.

Wird der Versuch vorzeitig abgebrochen, werden die beiden Lösungen mit einem Glasstab verrührt, damit sich möglichst viel Polyamid bildet, und wie oben getrocknet. Der flüssige Rückstand wird in den Behälter für organische Abfälle gegeben. Die Glasgeräte werden zunächst mit Alkohol ausgespült und anschließend nochmals gereinigt.

### **Auswertung:**

Da Hexamthylendiamin in Wasser und Petrolether löslich ist und Säurechlorid sich nur in Petrolether löst, diffundiert das Diamin an der Grenzfläche zur organischen Phase und reagiert dort mit dem Säurechlorid.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 16: Herstellung eines Polyurethanschaumes

Aufgrund der günstigen mechanischen Eigenschaften des Polyurethanschaums wird dieser heutzutage noch häufig zum Aufbau der Zwischensohle verwendet. Der für Sportler entscheidende Memory-Effekt, d.h. die Fähigkeit des gestauchten Schaums in seine ursprüngliche Form zurückzukehren hält beim P-Schaum sehr lange an.

### Sicherheitshinweise:

Kittel, Schutzbrille, Handschuhe (Hautkontakt mit Desmodur und Desmophen ist unbedingt zu vermeiden. Um den Arbeitstisch vor Verunreinigungen zu schützen, wird er mit Alufolie abgedeckt).

### Geräte:

- Holzspan
- Plastikbecher
- Alufolie

### Chemikalien:

- Desmodur
- Desmophen

Achtung: Isocyanate wie sie in Desmodur enthalten sind, gelten als besonders reizend. Sie schädigen die Schleimhäute und die Hautoberfläche. Die Folgen können Hautallergien oder Asthma sein. Möglichst unter dem Abzug arbeiten.

### Durchführung:

In einen Plastikbecher wird 0,5cm hoch Desmodur gefüllt. Anschließend wird etwa die gleiche Menge Desmophen zugegeben. Die beiden Stoffe werden mit einem Holzspatel gründlich verrührt.

### Beobachtung:

Nach starkem Rühren entsteht eine Gasentwicklung. Es bildet sich ein Schaum, der über das Gefäß hinausgeht. Nach kurzer Zeit kühlt der Schaum aus.

### Entsorgung:

Nach dem Aushärten des Schaums kann dieser in den Hausmüll gegeben werden oder die Schülerinnen und Schüler können ihn mit nach Hause nehmen.

### Auswertung:

Polyurethan entsteht durch Polyaddition von Diisocyanat mit einem Polyalkohol. Desmophen enthält Wasser, das mit Diisocyanat reagiert. Bei der Reaktion entsteht Kohlendioxid, welches das noch weiche Polyurethan aufschäumt.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 17: Eigenschaften der Sportschuhe-Sohle/Gummi untersuchen

Sportler brauchen, u.a. beim Laufen, die richtige Bodenhaftung auf dem Untergrund. Um diese Bodenhaftung durch die Sportschuhsohle zu gewährleisten greifen die meisten Sportschuhhersteller auf ein traditionelles Laufsohlenmaterial zurück: Das Gummi.

### Sicherheitshinweise:

Kittel, Schutzbrille, Handschuhe, Abzug

### Geräte:

- Dreifuß
- Bunsenbrenner
- Becherglas

### Chemikalien:

- Wasser
- Sohlen von Sportschuhen

### Durchführung:

Es werden die Eigenschaften des Materials einer Sportschuh-Sohle untersucht:

- Versuche die Sohle zu zerreißen.
- Wie verhält sich das Material beim Schmelzen?
- Brennt das Material der Sohle?

### Beobachtung:

Die Gummisohle ist nicht zu zerreißen, sie brennt und zerbröckelt beim Schmelzen.

### Auswertung:

Unter Gummi versteht man vulkanisierte natürliche oder synthetische Kautschuke. Kautschuk ist ein pflanzliches Polymer, das von Bäumen und Pflanzen zum Wundverschluss hergestellt wird.

Bei der Vulkanisation, d.h. durch Zusatz von Schwefel und anschließender Hitzebehandlung von Kautschuk, werden im Kautschuk vorhandene lange Kettenmoleküle durch Schwefelbrücken quer vernetzt. Dabei bilden sich dichte Knäuel. Beim Dehnen des Gummis werden die Knäuel auseinandergezogen. Lässt man das Gummi wieder los, verknäulen sich die Moleküle erneut. Gummi ist also ein Elastomer. Je nach Vernetzungsgrad, also Schwefelgehalt, unterscheidet man zwischen Weich- und Hartgummi. Mit Ruß wird Gummi schwarz gefärbt.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

## Versuch 18: Herstellung von Gummi – Modellversuch Indoorsohle

Sportler brauchen, u.a. beim Laufen, die richtige Bodenhaftung auf dem Untergrund. Um diese Bodenhaftung zu gewährleisten greifen die meisten Sportschuhhersteller auf ein traditionelles Laufsohlenmaterial zurück: Das Gummi. Dieses wird oft aus einer Mischung aus Natur- und Synthetikgummi hergestellt.

### Sicherheitshinweise:

Kittel, Schutzbrille, Handschuhe

### Geräte:

- Becherglas (50ml, enge Form)
- Mörser mit Pistill
- Petrischale
- Magnetrührer
- Glasstab

### Chemikalien:

Feinstes Schwefelpulver

H: 315, P: 302+353

2-Mercaptobenzothiazol (MBT)

H: 317, 410, P: 273, 280, 501

Zinkoxid

H: 410 P: 273

Geschirrspülmittel

Destilliertes Wasser

Latex (Hobbymarkt)



### Durchführung:

In einem Mörser wird 3g feinstes Schwefelpulver gründlich zerrieben. Dazu wird 0,5g MBT, 0,3g Zinkoxid, drei bis vier Tropfen Geschirrspülmittel und ein wenig destilliertes Wasser gegeben. Alles zusammen wird solange miteinander verrieben, bis eine homogene, zähflüssige Masse entsteht. Unter vorsichtigem Rühren (Magnetrührer) werden 20ml Latex hinzugefügt. Diese Mischung wird in ein Becherglas umgefüllt, kurz gerührt und dann 5 Minuten ruhig stehen gelassen. Von dieser Mischung wird so viel in eine Petrischale gegeben, dass der Boden ca. 1-2mm hoch bedeckt ist. Die Petrischale wird für 3-4 Stunden bei 80°C in den Trockenschrank gegeben, so dass der Wasseranteil verdunstet. Danach wird mindestens 30 Minuten im Trockenschrank bei 130°C vulkanisiert.

### Beobachtung:

Es entsteht eine dünne Gummischicht, die sich elastisch verhält.

### Auswertung:

Gummi ist ein Vulkanisationsprodukt von Kautschuk mit Vernetzungsmitteln, wie zum Beispiel Schwefel. Dieser bildet Brücken zwischen den Molekülen des Kautschuks, so dass sich "Knäule" bilden. Beim Dehnen des Gummis werden diese auseinandergezogen. Lässt man das Gummi los, "verknäulen" sich die Moleküle erneut.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 19: Herstellung von Gummi – Modellversuch Outdoorsohle

Dem bei der Produktion von Outdoor-Sportschuhsohlen verwendeten Gummi wird, ähnlich wie bei Autoreifen, Ruß zugesetzt (schwarze Farbe). Dieses dadurch entstehende sogenannte Karbongummi ist abriebfester als rußfreies Gummi, verursacht jedoch auf Hallenböden die allseits bekannten und unerwünschten Laufspuren. Hallenschuhe sind daher im Gegensatz zu Outdoorsohlen meistens mit naturfarbenen Gummilaufsohlen versehen (vgl. Hollensen & Wambach, 2007).

### Sicherheitshinweise:

Kittel, Schutzbrille, Handschuhe

### Geräte:

- Becherglas (50ml, enge Form)
- Mörser mit Pistill
- Petrischale
- Magnetrührer
- Glasstab

### Chemikalien:

Feinstes Schwefelpulver  
H: 315, P: 302+353

2-Mercaptobenzothiazol (MBT)  
H: 317, 410, P: 273, 280, 501

Zinkoxid  
H: 410 P: 273

Geschirrspülmittel  
Destilliertes Wasser  
Latex (Hobbymarkt)  
Ruß



### Durchführung:

In einem Mörser wird 3g feinstes Schwefelpulver gründlich zerrieben. Dazu wird 0,5g MBT, 0,3g Zinkoxid, drei bis vier Tropfen Geschirrspülmittel, 2g Ruß und ein wenig destilliertes Wasser gegeben. Alles zusammen wird solange miteinander verrieben, bis eine homogene, zähflüssige Masse entsteht. Unter vorsichtigem Rühren (Magnetrührer) werden 20ml Latex hinzugefügt. Diese Mischung wird in ein Becherglas umgefüllt, kurz gerührt und dann 5 min ruhig stehen gelassen. Von dieser Mischung wird so viel in eine Petrischale gegeben, dass der Boden ca. 1-2mm hoch bedeckt ist.

Die Petrischale wird für 3-4 Stunden bei 80°C in den Trockenschrank gegeben, so dass der Wasseranteil verdunstet. Anschließend wird mindestens 30 Minuten im Trockenschrank bei 130°C vulkanisiert.

### Beobachtung:

Es entsteht eine dünne, schwarze Gummischicht mit sehr hoher Festigkeit.

## Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

### **Auswertung:**

Gummi ist ein Vulkanisationsprodukt von Kautschuk mit Vernetzungsmitteln, wie z. B. Schwefel. Dieser bildet Brücken zwischen den Makromolekülen des Kautschuks, so dass sich dichte "Knäule" bilden. Beim Dehnen des Gummis werden die "Knäule" auseinandergezogen. Lässt man das Gummi wieder los, "verknäulen" sich die Moleküle erneut.

Wird einer Gummimischung, wie in der Outdoor-Laufsohlen- und Autoreifenproduktion, Ruß zugegeben, entsteht ein Produkt mit hoher Abriebfestigkeit.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## Versuch 20: Eigenschaften von Schnürsenkeln untersuchen

Bei der Betrachtung eines Sportschuhs werden die Schnürsenkel häufig wenig beachtet, allerdings spielen diese eine wichtige Rolle, da sie dem Fuß den optimalen Halt im Schuh ermöglichen. Sie sind durch die starken Belastungen hohen Kräften ausgesetzt und müssen daher sehr reißfest und zudem ein wenig flexibel sein, um Druckstellen am Fuß zu vermeiden.

### Chemikalien:

- Schnürsenkel von Sportschuhen

### Durchführung:

Durch Dehnen und Krafteinwirkung wird die Reißfestigkeit und die Dehnbarkeit von den Schnürsenkeln getestet.

### Beobachtung:

Die Schnürsenkel lassen sich mit sehr viel Krafteinwirkung minimal in die Länge ziehen. Sie können nicht zerrissen werden.

### Auswertung:

Durch die Reißfestigkeit und die geringe, aber vorhandene, Dehnbarkeit der Schnürsenkel kann sich der Sportschuh optimal an den Fuß anpassen und ihm zusätzlich einen festen Halt vermitteln.

# Die Chemie im Sportschuh: Experimente

---

## **Versuch 21: Schnürsenkelhalter untersuchen**

Die stabile Beschaffenheit der Schnürsenkelhalter ist für den optimalen und festen Sitz des Schuhs entscheidend, da sich die Schnürsenkel nur bei stabilen Schnürsenkelhaltern ausreichend fest ziehen lassen. Während früher in diesem Bereich meist Metalle eingesetzt wurden, werden Schnürsenkelhalter heutzutage meist aus thermoplastischen Polyurethanen (TPU) gefertigt.

### **Geräte:**

- Bunsenbrenner
- Tiegelfzange

### **Chemikalien:**

- Schnürsenkelhalter aus Metall und aus Kunststoff

### **Durchführung:**

Beide Schnürsenkelhalter werden auf verschiedene Art und Weise auf ihre Beschaffenheit getestet:

1. Lassen sich die Schnürsenkelhalter verbiegen?
2. Kann man sie zerreißen?
3. Was geschieht beim Erhitzen des nichtmetallischen Schnürsenkelhalters?

### **Beobachtung:**

Beide Arten von Schnürsenkelhaltern lassen sich nur sehr schwer verbiegen und sind nicht zu zerreißen. Beim Erhitzen nimmt der nichtmetallische Schnürsenkelhalter eine schwarze Färbung an.

### **Auswertung:**

Durch die Reißfestigkeit der Schnürsenkelhalter machen diese das optimale Schnüren der Schnürsenkel und damit den möglichst perfekten Sitz der Schuhs möglich. Die nichtmetallischen Schnürsenkelhalter bestehen aus Kohlenstoffverbindungen.