

DIE KUNST DES KLEBENS

Prof. Dr. Hans-Joachim Bader

J. W. Goethe-Universität Frankfurt
Institut für Didaktik der Chemie

*Lehrerfortbildungszentrum
des Instituts für
Didaktik der Chemie*

lfbz Chemie
Universität Frankfurt/M.



**Liebe Kursteilnehmerinnen,
liebe Kursteilnehmer,**

obwohl wir uns in der Vorbereitung des Kurses alle Mühe gegeben haben und auch bemüht sind, Ihnen eine informative Veranstaltung mit einem gleichzeitig angenehmen Klima zu bieten, können uns Fehler unterlaufen und Pannen passieren. Wir sind für Kritik und Anregungen immer dankbar, gleich auf welchen Bereich des Kurses sie sich beziehen. Wir freuen uns, wenn Sie Ihre eigenen Erfahrungen aus der Schulpraxis mit in den Kurs einbringen. Nur so ist es uns möglich, unsere Materialien zu verbessern und zu erkennen, wo Lücken sind.

Das Team des Lehrerfortbildungszentrums in Frankfurt ist jederzeit unter der E-Mail-Adresse lehrerfortbildungszentrum@chemie.uni-frankfurt.de erreichbar. Wir freuen uns auch, wenn Sie uns auf unserer Homepage www.chemielehrerfortbildung.de/frankfurt besuchen würden und wünschen Ihnen viel Spaß an unserer Fortbildungsveranstaltung.

Für das lfbz-Team

Prof. Dr. Hans-Joachim Bader

Inhalt

1	Grundlagen	2
1.1	Adhäsion und Kohäsion	2
1.2	Klebkraft	5
1.3	Tropfenformen	8
1.4	Unsaubere Oberflächen (Auswirkungen)	10
1.5	Tyndall-Effekt	12
1.6*	Zugbeanspruchung	15
2	Physikalisch härtende Klebstoffe	18
2.1	Schmelzklebstoff – Thermoplast	18
2.2	Weißleim als Schmelzklebstoff	21
2.3	Herstellung eines Klebstiftes	22
2.4	Lösemittel in „Alleskleber“	25
2.5	Gelöste Kunststoffe als Klebstoff (Polystyrol)	29
2.6	„Alleskleber“ aus Polyvinylacetat	31
2.7	Polyvinylalkohol aus Polyvinylacetat	34
2.8	Klebstoff aus Polyvinylalkohol	36
2.9	Reaktivierung eines Kontaktklebers	38
3	Chemisch härtende Klebstoffe	41
3.1	Glyptalharz - Duromer	41
3.2	Topfzeit bei Zweikomponentenklebstoffen	44
3.3*	PU-Klebstoff aus Desmophen und Desmodur	47
3.4*	PU-Klebstoff auf der Basis von Ricinusöl	50
3.5	Nachweis von Essigsäure bei der Vernetzung von Silikon	53
3.6	Schnellpolymerisation von Sekundenklebstoff	56
3.7	Nachweis von Fingerabdrücken mit Sekundenklebstoff	59
3.8	Schraubensicherung mit anaerob härtendem Klebstoff	61
3.9	Härten eines Epoxidharzes mit einem Diamin	63
4	Klebstoffe aus Naturstoffen	68
4.1	Herstellen von Caseinleim	68
4.2	Herstellen von Stärkekleister	71
4.3	Gelatineleim	74
4.4	Klebstoff aus Gummibärchen	77
4.5	Reifenkleber aus Kautschuk	81
4.6	Herstellung von Kontorleim mit Gummi arabicum	82
5	Liste aller verwendeten Gefahrstoffe	91

* Die Experimente sind im Skript enthalten, werden aber wegen der begrenzten Zeit (1.6) und wegen der verwendeten Chemikalien (3.3 und 3.4) nicht im Rahmen der Lehrerfortbildung durchgeführt.

1 Grundlagen

1.1 Adhäsion und Kohäsion

Informationen: Nach DIN EN 923 wird ein Klebstoff als „nichtmetallischer Werkstoff definiert, der Körper durch Oberflächenhaftung und innere Festigkeit (Adhäsion und Kohäsion) verbinden kann, ohne dass sich das Gefüge der Körper wesentlich ändert.“ Um diese Definition zu verstehen, muss man sich klarmachen, was Adhäsion und Kohäsion bedeuten.

Geräte: mehrere saubere Objektträger aus Glas, planare Glasplatten oder CDs, eine Tropfpipette pro Flüssigkeit

Chemikalien: Wasser, Glycerin, Speiseöl, Brennspritus

Sicherheit: Brennspritus („Gefahr“ )

Versuchsdauer: 15 min

Durchführung:

- Nehmen Sie einen Objektträger und geben Sie drei Tropfen Wasser darauf. Legen Sie dann einen zweiten Objektträger auf den befeuchteten ersten.
- Wiederholen Sie den Versuch mit den anderen Objektträgern und nehmen Sie anstelle von Wasser drei Tropfen der anderen Flüssigkeiten.
- Versuchen Sie nun jeweils die beiden Objektträger senkrecht (Zugrichtung) auseinanderzuziehen. Dann versuche Sie, sie waagrecht (Scherrichtung) gegeneinander zu verschieben.
- Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse und überlegen Sie, wie die Ergebnisse gedeutet werden können.

Entsorgung: Die Objektträger können mit Spülmittel gereinigt werden.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Informieren Sie sich über die Begriffe **Adhäsion** und **Kohäsion**.

Auswertung: Deuten Sie die Versuchsergebnisse mit Hilfe der Ergebnisse des Arbeitsauftrags:

Lehrerinformation:

Beobachtung: Versucht man, die Objektträger senkrecht (Zugrichtung) voneinander zu trennen, so ist dies bei den leichter flüchtigen (viskosen) Substanzen mit weniger Kraftaufwand möglich als bei Öl und Glycerin.

Verschiebt man die Objektträger waagrecht (Scherrichtung) gegeneinander, so geht dies bei Wasser und Brennspritus sehr leicht. Der obere Objektträger gleitet auf der Flüssigkeitsschicht schnell und leicht hin und her. Bei Glycerin und Öl ist das Verschieben der Objektträger schwerer und langsamer, da die beiden Objektträger stärker aneinander haften.

Hinweis: Man kann auch weitere Versuche mit Spülmittel, Wachs oder Honig durchführen.

Erläuterungen: Brennspritus, Wasser, Öl und Glycerin haben eine innere Festigkeit (Kohäsion), die aber zu gering ist, als dass sie als Klebstoffe eingesetzt werden könnten. Die Unterschiede in den Versuchen ergeben sich durch stärkere Adhäsionskräfte von Wasser und Brennspritus zum Glas, aber geringere Kohäsionskräfte als die hoch viskosen Flüssigkeiten wie Öl, Glycerin oder Honig.

Adhäsion: Der Begriff Adhäsion leitet sich vom lateinischen Wort „ahaerere“ (anhaften) ab und bezeichnet alle Kräfte, die an den Berührungsflächen von Klebstoff und Werkstoff deren Zusammenhaften bewirken. Die Adhäsionskräfte treten immer an Grenzflächen von festen Stoffen auf und bewirken die Haftung des Klebstoffs am Werkstoff. Der Klebstoff überbrückt als Kontaktschicht die Unebenheiten auf den Oberflächen der beiden Teile, die gefügt werden sollen.

Drei Komponenten spielen dabei eine Rolle: Zwischen einzelnen Molekülen entstehen Bindungskräfte (physikalische Adhäsion), gewöhnliche chemische Bindungen bilden sich aus (chemische Adhäsion), und bei einer genügend rauen Oberfläche kommt es zu einer mechanischen Verankerung durch die feste Anlagerung in den Vertiefungen (mechanische Adhäsion).

Durch Adhäsion entsteht noch kein fester Zusammenhalt. Die maximale Klebfestigkeit entsteht durch Adhäsion und Kohäsion.

Kohäsion: Das Wort Kohäsion stammt vom lateinischen Begriff „cohaerere“ (zusammenhängen) und bezeichnet eine Kraft, die die innere Festigkeit zwischen den Molekülen im Klebstoff beschreibt. Kohäsionskräfte sind um den Faktor 2 - 100 stärker als Adhäsionskräfte und wirken besonders stark in festen Körpern. Da Klebstoffe anfangs flüssig sind, besitzen sie eine gute Adhäsion. Sie härten dann später aus, wodurch eine gute Kohäsion entsteht. Die Lösemittel verhindern ein frühzeitiges Aushärten. Beim Aushärten verfestigt sich der Klebstoff hauptsächlich über chemische Bindungen zwischen den Klebstoffmolekülen, aber auch über neu erzeugte Bindungen, zum Beispiel durch die Vernetzung kurzkettiger Moleküle zu langkettigen Molekülen, durch zwischenmolekulare Wechselwirkung zwischen den Klebstoffmolekülen und durch mechanische Verkleinerungen verschiedener Klebstoffmoleküle.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Wagner, G. (2004): Klebstoffe und Kunststoffe. NiU Heft 80, S. 27.

Quarks und Co. (2000): Die Kunst des Klebens, WDR Köln.

[http://de.wikipedia.org/Stichwort: Klebstoffe](http://de.wikipedia.org/Stichwort:Klebstoffe).

Irmer, E. (2007): Klebstoffe – ein Thema für den Chemieunterricht in Klasse 7. MNU 60/1, S. 36-42.

1.2 Klebkräfte

Informationen: Die Eigenschaften eines Klebstoffs werden maßgeblich von seiner Oberflächenhaftung (Adhäsion) und seiner inneren Festigkeit (Kohäsion) bestimmt. In diesem Experiment untersuchen wir diese Kräfte etwas genauer.

Geräte: mehrere saubere Objektträger aus Glas, planare Glasplatten oder CDs, eine Tropfpipette pro Flüssigkeit

Chemikalien: Wasser, Glycerin

Sicherheit: -

Versuchsdauer: 40 min

Durchführung:

- Nehmen Sie zwei Objektträger und geben Sie drei Tropfen Wasser darauf. Dann legen Sie jeweils einen zweiten Objektträger auf die befeuchteten ersten.
- Wiederholen Sie den Versuch mit anderen Objektträgern und nehmen Sie anstelle von Wasser drei Tropfen Glycerin.
- Geben Sie jeweils ein Objektträgerpaar mit Wasser und eins mit Glycerin für ca. 30 Minuten in das Eisfach. Die anderen lassen Sie bei Zimmertemperatur liegen.
- Nach dem Herausnehmen aus dem Eisfach versuchen Sie, alle Objektträgerpaare senkrecht (Zugrichtung) und waagrecht (Scherrichtung) auseinanderzuziehen.
- Vergleichen Sie die Kräfte, die notwendig sind, um die kalten bzw. zimmerwarmen Objektträger auseinanderzuziehen.

Entsorgung: Die Objektträger können mit Spülmittel gereinigt werden.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Informieren Sie sich über die Begriffe **Adhäsion** und **Kohäsion**.

Auswertung: Deuten Sie die Versuchsergebnisse. Verwenden Sie auch die Versuchsergebnisse aus Versuch 1.1.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Versucht man, die Objektträger senkrecht (Zugrichtung) voneinander zu trennen, so ist dies bei Wasser als Zwischenschicht mit weniger Kraftaufwand möglich als bei Glycerin. Verschiebt man die Objektträger waagrecht (Scherrichtung) gegeneinander, so geht dies bei Wasser sehr leicht. Der obere Objektträger gleitet auf der Flüssigkeitsschicht schnell und leicht hin und her. Bei Glycerin ist das Verschieben der Objektträger schwerer und langsamer, da die beiden Objektträger stärker aneinanderhaften.

Bei den kalten Versuchsansätzen ist die Trennung in beiden Fällen schwerer. Bei den mit Wasser benetzten Objektträgern ist eine Trennung in der Regel nicht möglich, solange das Wasser zwischen den Platten gefroren ist.

Hinweis: Man kann auch weitere Versuche mit Spülmittel, Wachs oder Honig durchführen.

Erläuterungen: Wasser und Glycerin haben eine innere Festigkeit (Kohäsion), die aber zu gering ist, als dass sie als Klebstoffe eingesetzt werden könnten. Die Unterschiede in den Versuchen ergeben sich durch stärkere Adhäsionskräfte von Wasser zum Glas, aber geringere Kohäsionskräfte als die hochviskose Flüssigkeit Glycerin.

In diesem Versuch entstehen durch das Einfrieren der Wasserschicht hohe Kohäsionskräfte zwischen den Wassermolekülen, die die Trennung der Glasplatten erschweren. Glycerin bleibt trotz des Abkühlens flüssig, sodass die Kohäsionskräfte sich nicht so stark ausprägen.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Wagner, G. (2004): Klebstoffe und Kunststoffe. NiU Heft 80, S. 27.

Quarks und Co. (2000): Die Kunst des Klebens, WDR Köln.

1.3 Tropfenformen

Informationen: Die Tropfenform gibt Auskunft über die Adhäsionskräfte zu den Oberflächen sowie über die Kohäsionskräfte der Flüssigkeit.

Geräte: mehrere saubere Glasplatten, mehrere PE-Platten, PVC-Platten, CDs, Alubleche oder andere Metallbleche, Papier und Stift

Chemikalien: Wasser, Glycerin, Speiseöl, Brennspritus, eine Tropfpipette pro Flüssigkeit

Sicherheit: Brennspritus („Gefahr“ )

Versuchsdauer: 15 min

Durchführung:

- Führen Sie mehrere Versuchsreihen durch.
- Legen Sie mehrere verschiedene Bleche oder Platten vor sich hin.
- Tropfen Sie darauf jeweils einen Tropfen Wasser und zeichnen Sie die Tropfenform ab.
- Erstellen Sie eine Reihenfolge von der am besten benetzten Oberflächen bis zur wenig benetzten Oberfläche.
- Führen Sie diese Versuchsreihe mit anderen Flüssigkeiten durch. Verändern Sie dabei nicht das Oberflächenmaterial.
- Erstellen Sie wieder eine Reihenfolge zur Oberflächenbenetzung.

Entsorgung: Die Objektträger können mit Spülmittel gereinigt werden.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Informieren Sie sich über die Begriffe **Adhäsion** und **Kohäsion**.

Auswertung: Deuten Sie die Versuchsergebnisse. Verwenden Sie auch die Versuchsergebnisse aus Versuch 1.1.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Es bilden sich verschiedene kugelige Tropfenformen aus. Tropfen mit einer kugeligen Form besitzen eine große Kohäsion und eine große Oberflächenspannung. Die Tropfenform ist auch abhängig vom Material der Platten.

Hinweis: Man kann auch weitere Versuche mit diversen Substanzen durchführen, etwa Klebstoffen.

Erläuterungen: Ein Klebstoff benötigt beim Auftragen eine gute Adhäsion zu dem Material, außerdem sollte er gut in die Unebenheiten der Oberfläche eindringen können. Zugleich müssen aber innerhalb des Klebstoffs hohe Kohäsionskräfte wirken. Speiseöl bildet aufgrund seiner hohen Kohäsion einen stärker kugelförmigen Tropfen als Wasser auf Glas. Wasser bildet dafür höhere Adhäsionskräfte aus.

Sind die Adhäsionskräfte zu niedrig, ist keine Klebewirkung zu erreichen.

Oberflächenspannung: Unter Oberflächenspannung versteht man die an einer Oberfläche wirkenden Kräfte, die bestrebt sind, die Oberfläche zu verkleinern. Je größer die Oberflächenspannung zum Beispiel einer Flüssigkeit ist, desto größer sind die Kräfte, die einen Tropfen dieser Flüssigkeit zusammenhalten.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Wagner, G. (2004): Klebstoffe und Kunststoffe. NiU Heft 80, S. 27.

Quarks und Co. (2000): Die Kunst des Klebens, WDR Köln.

[http://de.wikipedia.org/Stichwort: Klebstoffe.](http://de.wikipedia.org/Stichwort:Klebstoffe)

Irmer, E. (2007): Klebstoffe – ein Thema für den Chemieunterricht in Klasse 7. MNU 60/1, S. 36-42.

1.4 Unsaubere Oberflächen (Auswirkungen)

Informationen: Bei mikroskopischer Betrachtung von glatten Oberflächen sieht man, dass diese uneben sind. Sie zeigen viele Tiefen und Höhen. Klebstoffe müssen mit der Oberfläche eine gute Verbindung eingehen und in die Tiefen der Oberfläche eindringen können. Deshalb sind sie zu Beginn des Klebprozess flüssig. Wenn die Oberflächen mit anderen Stoffen wie zum Beispiel Fett oder Farben belegt sind, können die Klebstoffe nicht in die Tiefen der Oberfläche eindringen. Diesen Effekt wollen wir untersuchen.

Geräte: mehrere saubere Glasplatten, mehrere PE-Platten, PVC-Platten, CDs, Alubleche und andere Metallbleche als Plattenpaare, eine Tropfpipette pro Flüssigkeit

Chemikalien: Sand, Wasser, Glycerin, Speiseöl

Sicherheit: -

Versuchsdauer: 20 min

Durchführung:

- Streuen Sie auf eine Platte von den Plattenpaaren etwas Sand.
- Geben Sie auf die jeweils andere saubere Platte einige Tropfen der drei „Klebstoffe“: Wasser, Glycerin, Speiseöl.
- Pressen Sie jeweils zwei dieser Platten zusammen und versuchen Sie, sie zu trennen.
- Vergleichen Sie die Klebewirkung zwischen den Platten mit Sand und den sauberen Platten.

Entsorgung: Die Objektträger können mit Spülmittel gereinigt werden.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Informieren Sie sich über die Begriffe **Adhäsion** und **Kohäsion**.

Auswertung: Deuten Sie die Versuchsergebnisse.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Die Platten mit Sand lassen sich leicht in Zug- und in Scherrichtung trennen.

Hinweis: Man kann auch weitere Versuche mit diversen Substanzen durchführen, etwa Klebstoffen.

Erläuterungen: Ein Klebstoff benötigt beim Auftragen eine gute Adhäsion zu dem Material, zudem sollte er gut in die Unebenheiten der Oberfläche eindringen können. Da Adhäsionskräfte nur auf sehr kurzen Distanzen wirksam werden, können Verschmutzungen auf den Oberflächen die Ausbildung dieser Kräfte stark beeinflussen. Sind die Adhäsionskräfte zu niedrig, ist keine Klebewirkung zu erreichen.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015):
Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Wagner, G. (2004): Klebstoffe und Kunststoffe. NiU Heft 8, S. 27.

Quarks und Co. (2000): Die Kunst des Klebens, WDR Köln.

[http://de.wikipedia.org/Stichwort: Klebstoffe.](http://de.wikipedia.org/Stichwort:Klebstoffe)

Irmer, E. (2007): Klebstoffe – ein Thema für den Chemieunterricht in Klasse 7. MNU 60/1, S. 36-42.

1.5 Tyndall-Effekt

Informationen: Viele Klebstoffe sind in Wasser dispergierte Makromoleküle, die nach dem Verdunsten des Lösemittels einen Klebstofffilm bilden. Die ungefähre Größe dieser Moleküle lässt sich mit Hilfe des Tyndall-Effekts zeigen. Licht wird bei einem Durchgang durch eine trübe Flüssigkeit an den kleinen Schwebeteilchen gestreut, deren Abmessungen denen der Lichtwellenlänge ähneln. Dieser Effekt ist nach dem Entdecker John Tyndall benannt, der die Streuung von Licht in kolloidalen Lösungen untersucht hat.

Geräte: zwei Bechergläser (250 mL, hoch), Messzylinder (200 mL), Spatel, Glasrührstab, Laserpointer

Chemikalien: Wasser, Tapetenkleister

Sicherheit: -

Versuchsdauer: 10 min

Durchführung:

- Füllen Sie zwei Bechergläser mit ca. 200 mL Wasser.
- Geben Sie in ein Becherglas fünf Spatelspitzen Tapetenkleister und rühren Sie gut um.
- Lassen Sie diese Mischung wenige Minuten stehen.
- Verdunkeln Sie den Raum etwas und leiten Sie einen Lichtstrahl durch das Glas mit dem Tapetenkleister.
- Stellen Sie das Becherglas mit dem Wasser in den Laserstrahl und vergleichen Sie Ihre Beobachtungen.

Entsorgung: Die Klebstofflösung wird in den Abfluss entsorgt.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Informieren Sie sich über die Wellenlänge des sichtbaren Lichts und die Wellenlänge des benutzten Laserpointers.

Geben Sie die ungefähre Größe der Makromoleküle an.



Auswertung: Deuten Sie die Versuchsergebnisse.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Im Glas mit dem Tapetenkleister sieht man einen Lichtstrahl und viele Teilchen, an denen das Licht gestreut wird.

Hinweis: Wenn kein Laserpointer vorhanden ist, lässt sich schnell eine Ersatzapparatur aufbauen. Man nimmt einen DIN-A5-großen schwarzen Karton und rollt diesen so auf, dass eine Öffnung von ca. 1 cm Durchmesser entsteht. Der Raum wird verdunkelt, und das Licht einer Taschenlampe (Licht vom Smartphone funktioniert ebenfalls) wird durch den Trichter geleitet. In diesen Strahlengang stellt man die Bechergläser.

Erläuterungen: Die Makromoleküle lassen sich in entsprechenden Lösemitteln (hier Wasser) durch Lichtstreuung nachweisen. Diese Erscheinung, auch Tyndall-Effekt genannt, tritt nur bei Makromolekülen auf, deren Molekülmasse $> 10^4$ ist.

Literatur: Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

1.6 Zugbeanspruchung

Informationen: Ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung von Klebstoffen ist die Prüfung auf Beanspruchung der Klebeteile unter verschiedenen Bedingungen. Hier sind unterschiedliche Faktoren relevant, von der Belastung der Klebung durch unterschiedliche mechanische Beanspruchungen bis hin zur Beeinflussung durch Witterungseinflüsse oder Chemikalien. Die **Abb. 1** zeigt die verschiedenen mechanischen Beanspruchungsformen einer Klebestelle. In diesem Versuch wird aufgezeigt, wie man die Zugbeanspruchung eines Klebstoffs prüfen kann.

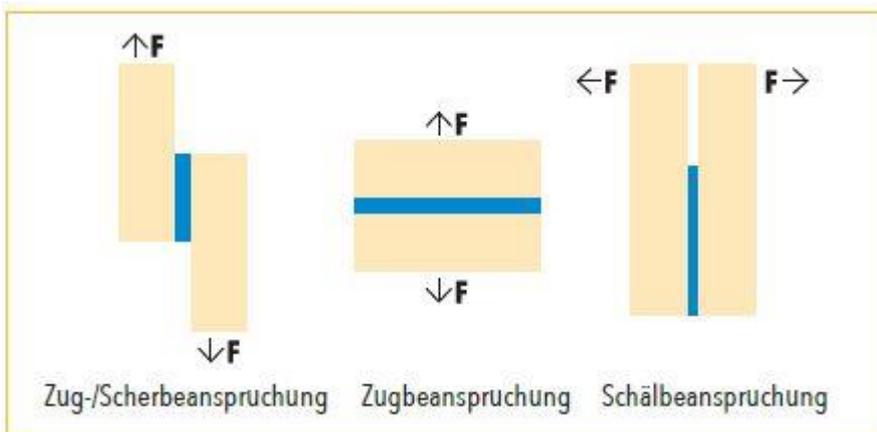


Abb. 1: Beanspruchungsformen einer Klebestelle

Die Versuchsbeschreibung erfolgt in Anlehnung an Böschen et al. (2012).

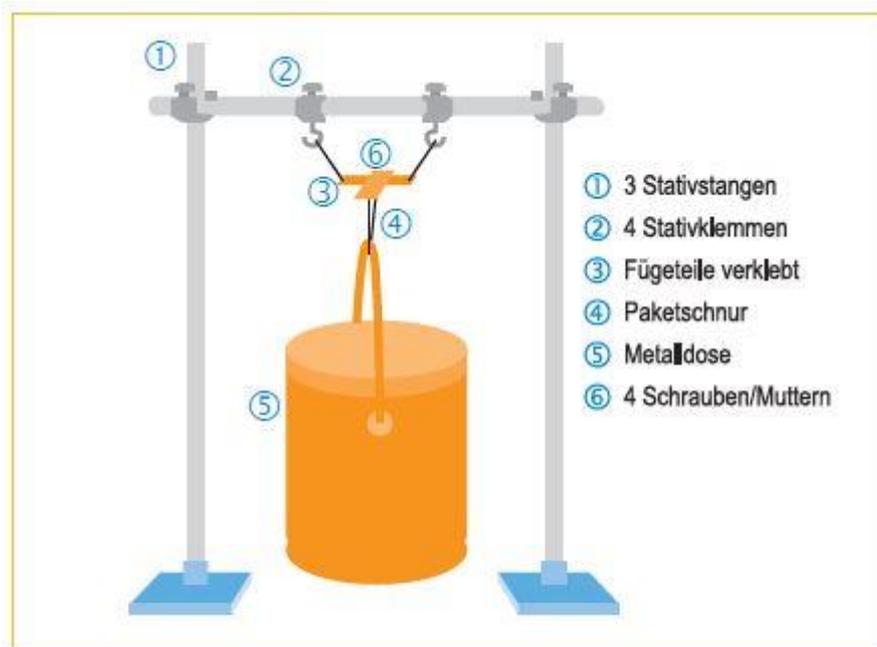


Abb. 2 Versuchsaufbau (Quelle: Böschen et al. 2012)

Geräte: vier Stativklammern, drei Stativstangen, vier Schrauben ($d = 2-3 \text{ mm}$) mit Muttern, eine Metalldose/-schale (Fassungsvermögen etwa 10 L), Paketschnur, Sand (etwa 20 kg), Uhr, zwei

Bechergläser (400 mL), Waage (z. B. Personenwaage), Füge­teile aus Holz, Kunststoff (PE und PVC), Glas, Plexiglas (PMMA), Metall, Küchenpapier

Chemikalien: Leitungswasser, verschiedene Klebstoffe, Brenns­pirit­us, Ethanol

Sicherheit: Brenns­pirit­us („Gefahr“ ) , Ethanol („Gefahr“ )

Versuchsdauer: ca. 60 min für das Testen von drei Klebstoffen an drei verschiedenen Materialien (ohne vorbereitende Verklebungen der Füge­teile)

Durchführung:

- Reinigen Sie Füge­teile unterschiedlicher Materialien an den jeweiligen Flächen zunächst mit Ethanol und Küchenpapier.
- Bringen Sie auf eine mittige Klebefläche von 1 cm² einen dünnen Klebstoffe auf, legen Sie die Füge­teile aufeinander und pressen Sie sie mithilfe eines mit Leitungswasser gefüllten Becherglases mit einem Gesamtgewicht von 400 g zusammen (Becherglas auf die verklebten Füge­teile stellen).
- Lassen Sie die Klebestelle für mindestens einen Tag trocknen.
- Der Versuch wird laut Skizze (s. oben) aufgebaut. Dazu werden die Bohrungen der Füge­teile mit Schrauben und Muttern versehen und mithilfe von Paketschnur an den Stativ­klemmen befestigt.
- Befüllen Sie die Metalldose nun nach und nach mit Sand. Geben Sie alle 15 Sekunden ca. 350-400 g Sand in die Metalldose.
- Um das Gesamtgewicht zu erhöhen, kann der Sand mit Leitungswasser getränkt werden.
- Die Masse der Metalldose bestimmen sie dann, wenn die Klebe­verbindung bricht oder es zum Bruch der Füge­teile kommt.

Entsorgung: Alle Materialien können im Hausmüll entsorgt werden.

Beobachtungen:

Auswertung:

Lehrerinformation:

Beobachtung: Beobachtungsbeispiele (Es können auch andere Klebstoffe verwendet werden.)

Klebstoff Material	UHU-Der- Alleskleber®	Pattex-Kleben- statt-Bohren®	Pattex-Multi- Alleskleber®	Spezialklebstoffe
Plexiglas	0,196	0,174	0,275	0,201
Kunststoff (PE)	0,064	0,052	0,148	0,063
Kunststoff (PVC)	0,091	0,121	0,191	>0,278
Holz	> 0,235	0,170	>0,275	>0,278
Metall	0,049	0,126	>0,275	>0,278
Glas	0,177	>0,270	0,199	0,237

Tabelle 1 Beobachtungsbeispiele für ausgewählte Klebstoffe

Hinweis: Der naturwissenschaftliche Unterricht soll den Schülerinnen und Schülern eine Orientierung für naturwissenschaftlich-technische Berufsfelder ermöglichen. Dabei geht es darum, Möglichkeiten aufzuzeigen, wie Tätigkeiten und Aufgaben im Unterricht mit einer gleichzeitigen beruflichen Orientierung verknüpft werden können (Böschchen et al, 2012). Häufig kommt diese Zielsetzung jedoch im alltäglichen Unterricht aufgrund der Zeitknappheit und mangelnden Erfahrung der Lehrkräfte zu kurz (Thoma, 2010). Es muss verdeutlicht werden, dass es nicht um eine Addition von berufsorientierenden Inhalten zusätzlich zum Fachunterricht geht, sondern um eine lernzielbestimmte Integration in die bestehenden Unterrichtsfächer (Butz, 2008). Die Chemie und Physik von Klebstoffen ist ein gutes Beispiel, mit dem diese Integration erreicht werden kann.

Hinweise zur Auswertung: Der Versuch lehnt sich eng an das industrielle Prüfungsverfahren zur Messung der Zugbeanspruchung an. Die Zugfestigkeit wird in Mega Pascal ermittelt.

Ein zusätzlicher Versuch zur Schälbeanspruchung ist im Artikel von Böschchen et al. (2012) beschrieben.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Böschchen, W., Haucke, K., Parchmann, I. (2012): Klebstoffe – ein Thema zur Vernetzung von Erkenntnisgewinnung und Berufsorientierung, MNU 65/4, S. 219-230.

Butz, B. (2008): Grundlegende Qualitätsmerkmale einer ganzheitlichen Berufsorientierung. In: G.-E. Famulla – B. Butz – S. Deeken – U. Michaelis – V. Möhle – B. Schäfer (Hg.): Berufsorientierung als Prozess. Persönlichkeit fördern, Schule entwickeln, Übergang sichern. Hohengehren: Schneider Verlag, Band 5, S. 42-62.

Thoma, G. (2010): Die Kluft zwischen Schule und Arbeitswelt und Ansätze ihrer Überwindung. Wirtschaft und Beruf Erziehung, 6, S. 22-27.

2 Physikalisch härtende Klebstoffe

2.1 Schmelzklebstoff – Thermoplast

Informationen: Schmelzklebstoffe sind Thermoplaste, die in festem Zustand zum Beispiel als Granulat angeliefert werden und mittels Schmelzgeräten bei Temperaturen zwischen +130 °C und +120 °C geschmolzen werden. In dieser flüssigen Form werden sie auf einen der Klebepartner aufgebracht und sofort mit dem anderen Klebepartner zusammengefügt. Die Festigkeit wird sehr schnell, unmittelbar nach dem Erkalten und Erstarren der Schmelze erreicht. Schmelzklebstoffe haben somit gegenüber Lösemitteln und Dispersion keinen Schwund und füllen Fugen gut aus. Wichtig ist, dass der Klebstoff beim Fügen der Teile noch warm und flüssig ist, um die Klebeflächen gut zu benetzen. Wir stellen ein Schmelzklebstoff her, der nicht erst abgekühlt wird, sondern von der Reaktion her sofort in flüssiger Form aufgetragen wird. Die Verklebung erfolgt anschließend beim Abkühlen.

Geräte: Waage, Spatel, Einwegpipette, Reagenzglasgestell, Reagenzglas, Holzklammer, Gasbrenner, Siedesteine, Aktivkohlestopfen, Tropfpipette

Chemikalien: Ethandiol, Phthalsäureanhydrid

Sicherheit: Ethandiol („Achtung“,  ) , Phthalsäureanhydrid („Gefahr“,   )

Versuchsdauer: 15 min

Durchführung:

- Arbeiten Sie wegen der Geruchsbelästigung unter dem Abzug oder verwenden Sie einen Aktivkohlestopfen.
- Wiegen Sie 1,5 g Phthalsäureanhydrid in ein Reagenzglas.
- Überschichten Sie den Feststoff mit 1 ml Ethandiol.
- Fügen Sie ein Siedesteinchen hinzu, und erhitzen Sie das Reaktionsgemisch im schräg gehaltenen Reagenzglas unter ständigem Schütteln zum schwachen Sieden, bis die Flüssigkeit eine dunkle Orangefärbung annimmt.
- Lassen Sie die Mischung ca. 1 Minute abkühlen und verteilen Sie dann die Masse auf Holzstäbchen oder Glasplatten. Pressen Sie die Teile gleich zusammen.

Entsorgung: Der Klebstoff kann in den Hausmüll entsorgt werden.

Beobachtungen:

Arbeitsaufträge:

Informieren Sie sich über die Kondensation als Reaktionstyp.

Erklären Sie die unterschiedlichen Eigenschaften von Thermoplaste und Duroplasten mit Hilfe ihrer unterschiedlichen Struktur.

2.2 Weißleim als Schmelzklebstoff

Informationen: In der Verpackungsindustrie wird häufig das sog. Heißsiegelverfahren genutzt, um zwei Folien miteinander dauerhaft zu verschweißen. Hierbei durchlaufen die zu versiegelnden Folien ein Paar beheizte Siegelbacken, die mit definiertem Druck sowie unter definierter Zeit und Temperatur eine sog. Siegelnaht erzeugen. Da Folien (oft Polypropylen) im Grunde ebenso wie moderne Leime (Polyvinylacetat-Dispersion) im Allg. aus synthetischen Polymeren bestehen, ist es möglich, zwei separate Werkstücke, die jeweils eine getrocknete Holzleim-Klebeschicht aufweisen, auch nachträglich noch zu verkleben.

Geräte/Materialien: Bügeleisen, Stoff (Baumwolle), Holzbrett, Spatel oder Pinsel

Chemikalien: Holzleim (z.B. *Ponal Holzleim classic*)

Durchführung:

- Auf ein möglichst glattes und staubfreies Holzbrett wird eine gleichmäßige Schicht Holzleim aufgetragen.
- Analog wird eine in Schicht Holzleim auf ein Stück Stoff (z.B. Reste eines zerschnittenen Laborkittels aus Baumwolle) aufgetragen.
- Die Klebeschichten der bestrichenen Werkstoffe werden über Nacht getrocknet.
- Der mit dem getrockneten Leim behandelte Stoff wird auf das mit Leim behandelte Holzbrett gelegt.
- Mit einem heißen Bügeleisen wird für ca. zwei Minuten unter leichtem Druck auf der Stoffseite erhitzt.
- Nach einer kurzen Abkühlzeit kann die Klebung auf ihre Haltbarkeit getestet werden.

Versuchsdauer:

- Vorbereitung (ohne Trocknungszeit des Klebers): 10 Minuten
- Nachbereitung (Aufkleben des Stück Stoffs auf das Holzbrett): 5 Minuten

Entsorgung: Reste werden in den Hausmüll entsorgt.

Beobachtungen:

Auswertung:

Lehrerinformation

Beobachtungen: Der getrocknete Leim haftet sowohl am Holzbrett als auch am Stoff sehr gut. Beide Füge­teile mit dem getrockneten Holzleim haften zunächst nicht aneinander. Erst durch Erhitzen mit dem Bügeleisen kleben die beiden Füge­teile zusammen.

Hinweis:

- Der Versuch sollte, soweit vorhanden, alternativ mit glatten Holz­stücken (z.B. Spanplatte) und Furnierholz anstelle des Baumwoll­stoffs durchgeführt werden. Das dünne Furnierholz lässt sich sehr gut und dauerhaft „auf­bü­geln“. Der Versuch ist in dieser Ausführung nahe an die Praxis angelehnt. Baumwoll­stoff wird hier nur empfohlen, da die Beschaffung von Furnierholz (Schreinerei) entfällt. Alternativ kann auch dünnes Balsaholz (1 – 1,5 mm) verwendet werden.
- Werden die mit Leim beschichteten Materialien im Trockenschrank 15 Minuten getrocknet, kann sofort weitergearbeitet werden.

Literatur:

- <http://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Siegelnaht> , [Letztmaliger Abruf: 24.06.2016, 14:24 Uhr]
- G. Habenicht, *Kleben – Grundlagen, Technologien, Anwendungen* **2009**, 6. Auflage, Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 201-205.

2.3 Klebstift

Informationen: Im Jahr 1969 kam der erste Klebestift auf den Markt. Heute werden pro Jahr etwa 12 Milliarden Stück verkauft. Ein Hauptbestandteil von Klebestiften ist modifizierte Stärke (Dextrin). Dextrin hat den gleichen Aufbau wie Stärke, besitzt aber kürzere Ketten. Ein weiterer Bestandteil ist Knochenleim. Durch das Kochen von Knochen erhält man das Protein Glutin. Schon 1500 Jahre vor Christus konnte man diese Art der Klebstoffherstellung und nannte den Leim „Glutinum“.

Zur Herstellung von Klebstoffen wird Wasser erhitzt. Dann werden Seife (Natriumstearat) und Abbauprodukte der Stärke (Dextrin) darin gelöst, und es entsteht ein fast fester Stoff. Der Vorteil dieses Klebestifts ist, dass der sehr zähflüssige Klebstoff durch das Reiben auf dem Papier in die raue Oberfläche des Papiers gedrückt wird. Das Wasser zieht ein, und die Klebwirkung entsteht durch die Haftung der polaren Gruppen zwischen Stärke und Papier sowie den langen verknäulten Ketten.

Geräte: Becherglas (500 mL), zwei Bechergläser (100 mL), Schale für ein Wasserbad, Spatel, Glasstab, Waage, Messzylinder (10 mL), Heizplatte, Lippenstifthülle o.ä., Papier oder Pappe

Chemikalien: Dextrin (Stärke), Knochenleim, Traubenzucker, demineralisiertes Wasser, Zinkoxid

Sicherheit: Zinkoxid („Achtung“ )

Versuchsdauer: Der Versuch läuft insgesamt über drei Tage. Die einzelnen Arbeitsschritte dauern 5-10 min.

Durchführung:

- Lass 5,4 g Knochenleim über Nacht in Wasser quellen. Danach schüttele das überschüssige Wasser ab.
- Löse 2,8 g Dextrin in 3,2 mL demineralisiertem Wasser auf. Gib diese Lösung über den aufgequollenen Knochenleim und vermische alles mit 0,4 g Zinkoxid. Lass die Masse für 8 Stunden stehen.
- Dann erwärmst du die Masse im Wasserbad und rührst, bis eine gleichmäßige Masse entsteht.
- Stelle eine Lösung aus 10 g Traubenzucker und 6 mL demineralisiertem Wasser her und erwärme diese leicht. Dann gib die Traubenzuckerlösung über die zuvor hergestellte Masse und rühre gut um.
- Fülle die Klebmasse zum Beispiel in eine Lippenstifthülle und lass den Klebstoff abkühlen.
- Nun kannst du Klebversuche mit Papier und Pappe machen.

Entsorgung: Der Klebestift wird in den Hausmüll entsorgt.

Beobachtungen:

Arbeitsaufträge:

Recherchiere die Strukturmerkmale von Stärke, Dextrin und Glutin.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Der Knochenleim ist in kleinen harten Kügelchen käuflich und wird nach dem Quellen zu einer zusammenhängenden weißlich-milchigen, puddingartigen Masse. Das Vermengen mit Zinkoxid ist sehr schwer, da die feste Knochenleimmasse kaum zerteilbar ist. Beim Erwärmen im Wasserbad löst sich alles auf und wird zu einer gleichmäßigen flüssigen Lösung. Durch das Erkalten entsteht die typische Klebestiftkonsistenz.

Hinweis: Der Literatur-Originalansatz wurde auf ein Zehntel reduziert. Wenn der Klebstoff über ein Papier gerieben wird, klebt er Papier sehr gut. Der Klebstift ist nur ein paar Tage haltbar, dann schimmelt er.

Erläuterungen: Der Vorteil dieses Klebestifts ist, dass der sehr zähflüssige Klebstoff durch das Reiben auf dem Papier in die raue Oberfläche des Papiers gedrückt wird. Das Wasser zieht ein, wodurch die Klebstofffuge um die Hälfte schrumpft. Die Klebwirkung entsteht durch die Haftung der polaren Gruppen zwischen Stärke und Papier sowie den langen verknäulten Ketten. Der ähnliche Molekülaufbau von Stärke und Cellulose mit vielen funktionellen Gruppen begünstigt die Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen und von Adhäsionskräften.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Wagner, G. (2004): Klebstoffe und Kunststoffe. NiU Heft 8, S. 27.

Quarks und Co. (2000): Die Kunst des Klebens, WDR Köln.

Maurer, N., Aßmann, C.: (2014): Herstellung und Vergleich verschiedener Klebstoffe. Download: <http://chf.de/eduthek/projektarbeit-herstellung-vergleich-klebstoffe.html> (14-08-2014)

2.4 Lösemittel in „Alleskleber“

Informationen: Lösemittelhaltige Klebstoffe bieten ein breites Einsatzgebiet und sind vergleichsweise einfach zu verarbeiten. Allerdings sind sie aus Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutzgründen als kritisch anzusehen und werden daher zunehmend durch wasserbasierte Nassklebstoffe ersetzt. Da bei den lösemittelhaltigen Nassklebstoffen verschiedene thermoplastische Polymere zum Einsatz kommen können, ist auch die Bandbreite der Eigenschaften dieser Klebstoffgruppe recht hoch. Umgangssprachlich werden die lösemittelhaltigen Nassklebstoffe deshalb auch als „Alleskleber“ bezeichnet.

Geräte: Waage (0,01 g Wägegenauigkeit), Filterpapier (Durchmesser 11 cm), Uhrglas, Fön

Chemikalien: „Alleskleber“ mit und ohne Lösemittel

Sicherheit: -

Versuchsdauer: ca. 30 min inkl. Auswertung

Durchführung:

- Verstreichen Sie ca. 1 - 2 g eines „Allesklebers“ auf ein Filterpapier zu einem breiten Fleck. Bestimmen Sie die Masse des Filterpapiers mit Klebstoff genau.
- Legen Sie das Filterpapier auf einem Uhrglas auf die Waage und verfolgen Sie die Massenabnahme pro Minute über mindestens 15 Minuten.
- Tragen Sie Ihre Werte in eine Wertetabelle ein und stellen Sie die Massenabnahme gegen die Zeit grafisch dar.
- Stellen Sie das Endgewicht fest, nachdem Sie das Filterpapier mit einem Fön unter dem Abzug etwa 1 Minute lang erwärmt haben.

Entsorgung: Das Filterpapier mit getrocknetem Klebstoff wird in den Hausmüll entsorgt.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Berechnen Sie den prozentualen Lösemittelanteil.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Getestet wurden die unten genannten Klebstoffe. Es können aber auch alle anderen „Allesklebstoffe“ verwendet werden.

Klebstoff	Auftrag Klebstoff (g)	Endmasse Klebstoff (nach 15 min) (g)	Endmasse Klebstoff nach Erwärmen (g)	Anteil Lösemittel (%)
Uhu® flinke Flasche (ohne organische Lösemittel)	1,38	0,83	0,39	71,8
Uhu® Flinke Flasche (mit organischen Lösemitteln)	1,70	0,86	0,57	66,5

Tabelle 2 Beispielwerte mit zwei "Allesklebern"

Zeit (min)	Masse Klebstoff 1 (g)	Masse Klebstoff 2 (g)
0	1,38	1,70
1	1,25	1,55
2	1,17	1,45
3	1,10	1,35
4	1,02	1,28
5	0,95	1,20
6	0,90	1,13
7	0,88	1,06
8	0,87	1,02
9	0,86	0,98
10	0,85	0,94
11	0,84	0,90
12	0,83	0,88
13	0,83	0,87
15	0,83	0,86

Tabelle 3 Massenabnahmen durch Verdunstung der Lösemittel

Hinweis: Das Abdampfen des Restlösemittels sollte unter dem Abzug geschehen.

Erläuterungen: Alle lösemittelhaltigen Klebstoffe binden auf die gleiche Weise ab. Damit die physikalischen Wechselwirkungen zwischen den im Klebstoff enthaltenen Polymeren wirksam

werden können, muss das Lösemittel verdampfen; die Moleküle nähern sich einander an, und der Klebstoff wird fest.

Eine Voraussetzung für den erfolgreichen Ablauf dieses Vorgangs ist mindestens ein lösemitteldurchlässiges Füge­teil. Der Anteil des Lösemittels in diesen Klebstoffen variiert stark. Er kann bis zu 75 % betragen.

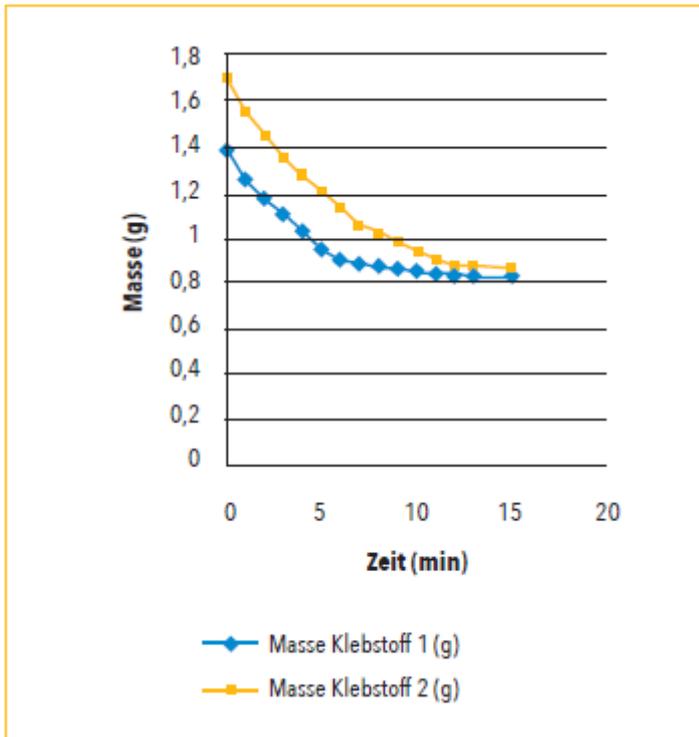


Abb. 4: Graphische Darstellung der Massenabnahme durch Verdunstung

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Irmer, W. (2007): Klebstoffe - ein Thema für den Chemieunterricht in Klasse 7. MNU 60/1, S. 36-42.

2.5 Gelöste Kunststoffe (Polystyrol)

Informationen: Klebstoffe mit Lösemitteln (sog. Nassklebstoffe) werden im Alltag häufig verwendet. Diese Klebstoffe bestehen aus Polymeren, die durch Lösemittel, zum Beispiel Alkohol, Aceton oder Methylacetat, verflüssigt sind. Wenn das Lösemittel verdunstet, härtet der Klebstoff aus. Deshalb sollte das Lösungsmittel durch das Material oder am Rand entweichen können. Da lösungsmittelhaltige Nassklebstoffe einige Kunststoffe beschädigen oder sogar auflösen können, müssen bei der Anwendung dieser Klebstoffe unbedingt die Hinweise der Hersteller beachtet werden. Nassklebstoffe werden auf ein Fügeteil aufgetragen und sofort mit dem zweiten Fügeteil verklebt und fixiert. Bei sogenannten „lösungsmittelfreien“ Klebstoffen ist Wasser das Lösemittel.

Geräte: Becherglas (50 mL), Spatel, Glasstab, Waage, Papier, Pappe, Messzylinder (10 ml)

Chemikalien: geschäumtes Polystyrol (Styropor), Ethylacetat (Essigsäureethylester)

Sicherheit: Unter dem Abzug arbeiten! Ethylacetat (Essigsäureethylester, „Gefahr“ )

Versuchsdauer: 20 min

Durchführung:

- Lösen Sie in 10 ml Ethylacetat portionsweise 3 g Styropor unter kräftigem Rühren.
- Führen Sie danach Klebtests mit Papier und Pappe durch.

Entsorgung: Entsorgen Sie die Reste im Abfallbehälter für organische Lösungsmittel.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Informieren Sie sich über die Strukturformeln der verwendeten Stoffe.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Das Styropor löst sich eindrucksvoll unter Zischen und Sprudeln, wird weicher, gelartiger und klebrig. Nach vollständiger Auflösung entsteht eine weißmilchige, leicht dickflüssige Lösung. Der Polystyrolklebstoff riecht nach Lösungsmittel. Es ist ein einfacher Klebstoff auf Polystyrolbasis entstanden, welcher Papier, Pappe, Glas, Kunststoffe und sogar Metalle verklebt.

Hinweis: Der Polystyrolklebstoff ist gut verschlossen über längere Zeit haltbar.

Geben Sie den flüssigen Klebstoff in ein größeres Gefäß mit Wasser, erhalten Sie eine glasklare Polystyrol-Platte.

Erläuterungen: Organische lösemittelhaltige Klebstoffe werden hergestellt, indem ein Kunststoff in eine flüssige Form gebracht wird. Die Polymere liegen suspendiert bzw. gelöst in dem Lösemittel vor und werden appliziert.

Das Fügen findet zu einem Zeitpunkt statt, zu dem noch genügend Lösemittel in der Klebeschicht vorhanden ist, um eine Benetzung der zweiten Fügeiteiloberfläche zu gewährleisten. Durch Verdunstung der Lösemittel bindet der Klebstoff ab, das heißt, er wird zunächst zäher und verfestigt sich schließlich durch die Ausbildung physikalischer Wechselwirkungen zwischen den Polymerketten.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Brückmann, J. et al. (2001): Experimente zu Makromolekülen. - Köln: Skriptum des Arbeitskreises im Kölner Modell am Institut für Anorganische Chemie der Universität zu Köln.

2.6 „Alleskleber“ aus Polyvinylacetat

Informationen: „Alleskleber“ ist eine allgemein gebräuchliche, aber unkorrekte Bezeichnung für Klebstoffe, mit denen viele (aber nicht alle!) Materialien mit unterschiedlichen Ergebnissen verklebt werden können. „Alleskleber“ sind wässrige Dispersionen oder Lösungen von Polymeren, zum Beispiel Polyurethan, Cellulosenitrat, Polyvinylacetat, Polyacrylate in (alkoholhaltigen) Estern und/oder Ketonen oder Wasser (Dispersionsklebstoffe). „Alleskleber“ binden ab durch Verdunsten des Löse-/Dispersionsmittels oder dessen Abgabe an das zu verklebende Substrat. „Alleskleber“ werden besonders im Haushalt und im Do-it-yourself-Bereich eingesetzt.

Geräte: Becherglas (100 mL), Messzylinder (50 mL), Magnetheizgerät, Rührkern, Spatel, Glasstab, Waage, fest verschließbares kleines Gefäß

Chemikalien: PVAC (Polyvinylacetat), Ethylacetat (Essigsäureethylester)

Sicherheit: Unter dem Abzug arbeiten! Ethylacetat (Essigsäureethylester, „Gefahr“ )

Versuchsdauer: ca. 30 - 40 min

Durchführung:

- Arbeiten Sie unter dem Abzug.
- Geben Sie in das Becherglas unter Rühren und schwachem Erwärmen sukzessive 8 g PVAC in 30 mL Ethylacetat, bis es sich aufgelöst hat (ca. 30 Minuten).
- Lassen Sie diese Mischung etwas quellen. Aufgrund der hohen Viskosität kann auch ein Glasstab zum Rühren verwendet werden.
- Führen Sie mit dieser Mischung Klebversuche durch.

Entsorgung: Die Reste des Klebstoff werden im Abfallbehälter für organische Lösungsmittel entsorgt.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Ermitteln Sie die Strukturmerkmale der genannten Polymere.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Das Polyvinylacetat löst sich recht langsam im Ethylacetat auf, und die „Lösung“ wird zusehends viskoser. Es entsteht ein Klebstoff, mit dem man Papier, Pappe, Glas und Kunststoffe sowie Metall gut leben kann. In einem fest verschließbaren Gefäß ist der Klebstoff gut zu lagern.

Hinweis: Ohne Erhitzen gelingt das „Lösen“ nur schlecht bzw. erst innerhalb von mehr als einer Stunde.

Erläuterungen: Hier handelt es sich um einen Nassklebstoff, der ca. 75-85 % an Lösungsmittel enthält. Sobald das Lösungsmittel verdunstet, bindet der Klebstoff ab und verbindet die Werkstücke, die mit dem Klebstoff benetzt worden sind. Die Inhaltsstoffe sind zumeist Methylacetat, Polyvinylacetat, Ethanol und Aceton. Polyvinylacetat als Polymer ist der eigentliche Klebstoff, der die Materialien verbindet, das Lösungsmittel Methylacetat dient dazu, das Polymer in Lösung zu halten und es so leichter auftragen zu können. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verbindung zwischen Klebstoff und dem Werkstoff Papier.

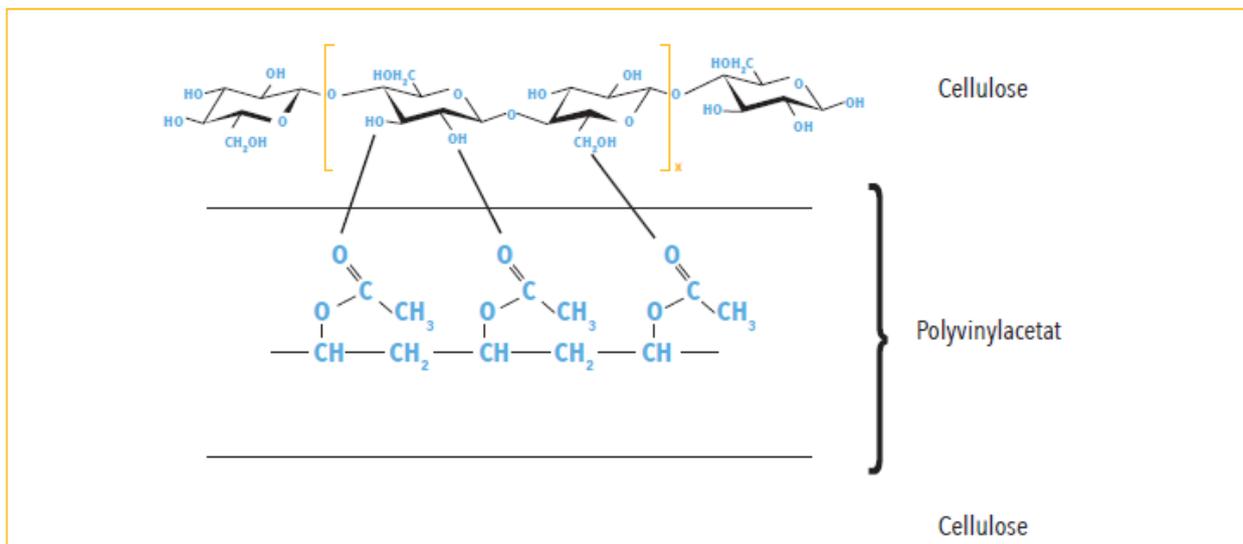


Abb. 5 Abbildung aus Degenkolb (2001)

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Degenkolb, D. (2001): Klebstoffe. Universität Bayreuth.

<http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/klebstoffe.htm> (27-02-2015)

2.7 Polyvinylalkohol aus Polyvinylacetat

Informationen: Im Gegensatz zu den meisten Vinylpolymeren (z. B. PVC) kann Polyvinylalkohol nicht durch einfache Polymerisation des entsprechenden Monomers hergestellt werden, da das zugrunde liegende Monomere „Ethenol“ nicht stabil ist. Es steht im Gleichgewicht mit Ethanal, wobei das Gleichgewicht weit auf der Seite des Alkanals liegt (siehe auch Veruch 2.8). Polyvinylalkohol kann somit nur durch Verseifung von Polyvinylacetat gewonnen werden.

Geräte: Bunsenbrenner, Reagenzglaslammer, 2 Durangläser, Reagenzglasständer, Pipette, Feuerzeug, Messzylinder (10 ml), Waage, Wägeschälchen, Spatel, Siedesteine, Glasstab, Becherglas (100 ml)

Chemikalien: 10%-ige NaOH-Lösung, Ethanol, Polyvinylacetat

Sicherheit: Natronlauge  , Ethanol  

Durchführung:

- Geben Sie in ein Reagenzglas etwa 0,5 g Polyvinylacetat sowie 10 mL Ethanol und einen Siedestein.
- Erhitzen Sie das Ethanol vorsichtig über dem Bunsenbrenner, bis sich das Polyvinylacetat deutlich gelöst hat. Nehmen Sie dazu das Reagenzglas gelegentlich aus der Flamme, um mit dem Glasstab umzurühren
- Vermischen Sie in einem Reagenzglas 1 mL 10%-ige NaOH-Lösung mit 5 mL Ethanol und fügen sie diese Lösung zu der Polyvinylacetat-Lösung.
- Erhitzen Sie unter stetigem Schütteln die vereinigten Lösungen vorsichtig über dem Bunsenbrenner, bis ein weißer Niederschlag ausfällt. Erhitzen Sie so lange weiter, bis sich der Niederschlag zusammenballt.
- Dekantieren Sie das Ethanol ab, soweit es geht, und versetzen sie den weißen Rückstand mit 10 ml Wasser.
- Erhitzen Sie das Gemisch im Reagenzglas wieder vorsichtig über dem Brenner, bis sich der Niederschlag aufgelöst hat.

Entsorgung: Die Lösungen werden zu den Abfällen „organische Lösungsmittel“ gegeben.

Versuchsdauer: 15 Minuten

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Formulieren Sie die ablaufende Reaktion:

Lehrerinformation:

Beobachtung: nach 5 bis 10 Minuten hat sich das Polyvinylacetat größtenteils aufgelöst. Bei Erwärmen mit der Natronlauge, entsteht relativ schnell ein weißer Niederschlag, der sich nach weiterem Erhitzen zusammenballt. Nach Abdekantieren des Ethanols und Erhitzen mit Wasser, löst sich der Niederschlag wieder auf, es entsteht eine kolloidale Lösung

Auswertung: Das Polyvinylacetat löst sich in Ethanol. Nach Zugabe der Natriumhydroxid-Lösung und Erhitzen fällt der gebildete Polyvinylalkohol aus. Polyvinylalkohol ist in Ethanol unlöslich.

Hinweis: Der ausgefallene Polyvinylalkohol kann durch Zugabe von Wasser in Lösung gebracht werden.

Literatur: siehe Versuche 2.6 und 2.8

2.8 Klebstoff aus Polyvinylalkohol

Informationen: Im Gegensatz zu den meisten Vinylpolymeren (z. B. PVC) kann Polyvinylalkohol nicht durch einfache Polymerisation des entsprechenden Monomers hergestellt werden, da das zugrunde liegende monomere „Ethenol“ nicht stabil ist. Es steht im Polymeren Gleichgewicht mit Ethanal, wobei das Gleichgewicht weit auf der Seite des Alkanals liegt.

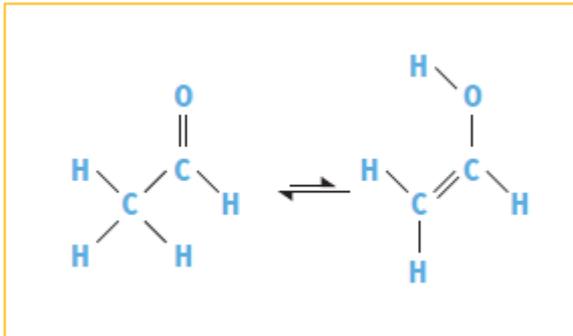


Abb. 6 Keto-Enol-Tautomerie

Geräte: Becherglas (100 mL), Glasrührstab, Dreifuß, Wärmeschutznetz, Brenner, Thermometer (bis 100 °C), Messzylinder, Waage, Pinsel, Papier- und Pappstreifen, Holz

Chemikalien: Polyvinylalkohol, Wasser

Versuchsdauer: ca. 10 min ohne Klebversuche

Durchführung:

- Erwärmen Sie in einem Becherglas 50 mL Wasser auf ca. 85 °C.
- Fügen Sie unter Umrühren etwa 3 g Polyvinylalkohol dazu und lösen Sie den Feststoff auf.
- Führen Sie mit der entstandenen Lösung Klebtests mit Papier, Pappe, Holz etc. durch.

Entsorgung: Die getrocknete Klebstofflösung und die Ergebnisse der Klebversuche werden in den Hausmüll entsorgt.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Recherchieren Sie die Herstellung von Polyvinylalkohol.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Polyvinylalkohol löst sich in wenigen Minuten vollständig auf. Die Lösung bleibt auch nach Abkühlen auf Raumtemperatur erhalten. Mit dem Pinsel lassen sich dünne Filme erzeugen, die gute Klebeeigenschaften auf Papier und Pappe zeigen.

Hinweis: -

Erläuterungen: Handelsübliche Typen von Polyvinylalkohol-Klebstoffen werden über alkalische Hydrolyse von Polyvinylacetat (PVA) hergestellt.

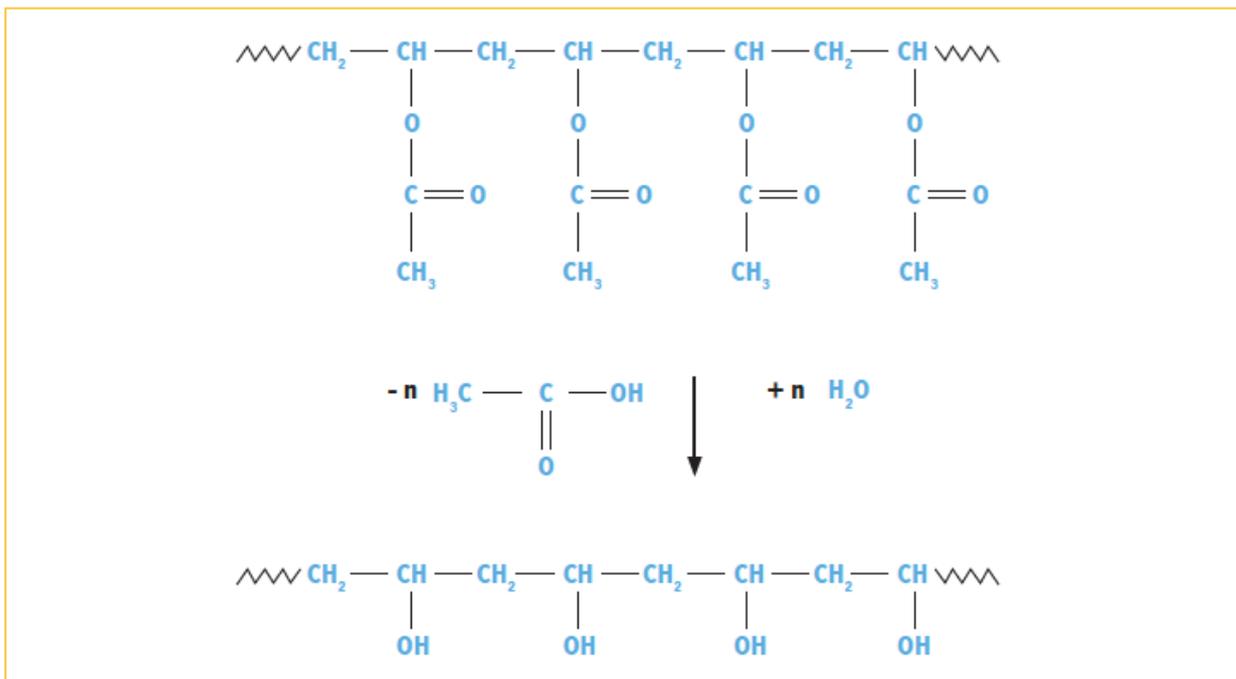


Abb. 7 Abbildung aus chemgapedia

Während sich Teilhydrolysate bei Raumtemperatur in Wasser lösen, gelingt die Lösung reinen Polyvinylalkohols nur in heißem Wasser. Die Lösung bleibt dann allerdings auch bei Raumtemperatur stabil. Polyvinylalkohole zeigen ausgezeichnete filmbildende, emulgierende und haftende Eigenschaften. Zudem zeigen die Klebstoffe hervorragende Beständigkeit gegen Öle, Fette und Lösungsmittel sowie eine vergleichsweise hohe Reißfestigkeit, Flexibilität und eine hohe Sauerstoffbarriere.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

<http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/9/mac/copolymere/polymeranalog.vlu/Page/vcs/de/ch/9/mac/copolymere/polymeranalog/pca/vscml.html> (27-02-2015)

<http://www.chemie.de/lexikon/Polyvinylalkohol.html> (27-02-2015)

2.9 Reaktivierung eines Kontaktklebers

Informationen: Als „Pattex“-Kleber bezeichnet man üblicherweise den Pattex®-Kraftkleber classic. Auch hier hat sich der Markenname als Bezeichnung für eine ganze Produktgruppe eingebürgert. Es handelt es sich um einen Kontaktklebstoff für Kombinationsklebungen von Holzwerkstoffen mit Gummi, Leder, Kork, Metall, u.v.a. Kontaktklebstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich als scheinbar trockene Klebstofffilme auf den Oberflächen von Fügeteilen dennoch durch Anwendung von Druck in kürzester Zeit zu einer Klebschicht mit relativ hoher Festigkeit vereinigen lassen. Als Basisstoff liegt dem Pattex Kraftkleber classic das Polymer Polychloropren, auch unter dem Marken- bzw. Handelsnamen Neopren bekannt, zugrunde.

Geräte: Aluminiumschälchen, Messer, Becherglas (100 mL), Messzylinder (10 mL), Magnetheizrührer mit Rührkern, Thermometer

Chemikalien: Cyclohexan, Ethylacetat, Pattex® Kraftkleber Classic

Sicherheit: Unter dem Abzug arbeiten. Cyclohexan , Ethylacetat , Pattex® Kraftkleber Classic 

Versuchsdauer: Vorbereitungszeit (Gießen und Trocknen des Klebers) ca. 60 min, Reaktivierung/Lösen des Klebers: ca. 40 min

Durchführung:

- In ein Aluminiumschälchen werden etwa 2,5 g des Pattex® Kraftkleber Classic gegossen und durch vorsichtiges Schwenken über die gesamte Fläche des Schälchens verteilt.
- Der Kleber wird für etwa eine Stunde zur Aushärtung im Abzug stehen gelassen.
- Der getrocknete Klebstoff wird mit Hilfe eines Messers vorsichtig aus dem Wägeschälchen herausgelöst und in ein Becherglas gegeben.
- Zu dem getrockneten Klebstoff werden zunächst 10 mL Ethylacetat und anschließend 10 mL Cyclohexan hinzugegeben.
- Es wird ein Rührfisch in die Lösung gegeben und der Pattex®-Kleber unter Rühren gelöst. Um den Lösevorgang zu beschleunigen, wird zusätzlich mit einem Heizrührer auf 60 °C erwärmt.
- Nachdem sich der Kleber aufgelöst hat, wird die Lösung bei 70 °C unter mäßigem Rühren solange eingedampft, bis sie in etwa die Konsistenz des ursprünglichen Pattex®-Klebers erreicht.
- Mit dem so reaktivierten Kleber können nun Klebetests erfolgen.

Entsorgung: Die Reste des Klebstoffs werden nach dem Trocknen in den Hausmüll entsorgt.



Beobachtungen:

Auswertung:

Lehrerinformation:

Beobachtung: Beim Herauslösen des Klebers aus dem Aluminiumschälchen kann dieser wie ein Film abgezogen werden. Beim Auflösen des Klebers nimmt die Lösung die gelbliche Farbe des getrockneten Klebers an.

Literatur:

Technisches Merkblatt Pattex® Kraftkleber classic (PDF) von Henkel:

http://www.wollschlaeger.de/datenblaetter/1569600050_TDB_D.pdf,

[Letztmaliger Abruf: 24.06.2016, 14:01 Uhr]

Habenicht, G. (2009). Kleben – Grundlagen, Technologien, Anwendungen, 6. Auflage, Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, S. 189-191.

3 Chemisch härtende Klebstoffe

3.1 Glyptalharz - Duromer

Informationen: Glyptalharz ist eine Gruppenbezeichnung für zu den Alkydharzen gehörenden Polyestern aus Glycerin und Phthalsäure, die heute wegen ihrer unbefriedigenden Eigenschaften (Sprödigkeit, schlechte Löslichkeit) nur noch in geringen Mengen produziert werden. Alkydharz ist eine Sammelbezeichnung für eine Gruppe von Kunstharzen, die weltweit in ca. 30 Prozent aller Beschichtungsstoffe die Bindemittelbasis darstellen und in einem weiteren Viertel mindestens in kleinen Anteilen enthalten sind. Es handelt sich um Polykondensationsharze aus Polyolen, mehrwertigen gesättigten und ungesättigten Carbonsäuren und/oder natürlichen und oder synthetischen Fettsäuren. Mindestens ein Polyol muss tri- oder höher funktionell sein. Durch die Anteile ungesättigter Carbonsäuren in den Polykondensaten sind die Eigenschaften trocknender Öle mit denen von Polyesterharzen verknüpft. Der Begriff „Alkyd“ leitet sich aus der Kombination „alcohol + acid“ ab.

Geräte: Weithals-Erlenmeyerkolben (100 mL), Messzylinder (10 mL), Pipetten (1 mL und 2 mL), Glasstab, Uhrglas, Handschuhe, elektrische Heizplatte oder Dreifuß, Drahtnetz und Brenner, Feuerzeug, Tiegelzange, Becherglas (50 mL), Pinsel, Materialproben für Klebversuche, Waage, Spatel

Chemikalien: Glycerin, Aceton, Phthalsäureanhydrid, Ethandiol

Sicherheit: Es wird unter einem Abzug gearbeitet.

Aceton („Gefahr“ ) , Phthalsäureanhydrid („Gefahr“ ) , Ethandiol („Achtung“ )

Versuchsdauer: 30 min

Durchführung:

- Geben Sie in einen 100-mL-Weithals-Erlenmeyerkolben 2 ml Glycerin (2,5 g) und 4 g Phthalsäureanhydrid und mischen Sie dieses mit einem Glasstab gut durch.
- Legen Sie ein Uhrglas auf die Öffnung und erhitzen Sie den Erlenmeyerkolben mit dem Brenner - die Flamme sollte gerade entleuchtet sein - oder einer Heizplatte vorsichtig, bis eine Rauchbildung einsetzt und die Bildung von weißen Nadeln am oberen Rand des Gefäßes zu beobachten ist (ca. 250-280 °C).
- Das Ende der Reaktion erkennen Sie daran, dass nur noch wenige Blasen aufsteigen und die Flüssigkeit viskoser wird. (Sie dürfen nicht zu lange warten, da sonst das Harz schon fest wird.)
- Überschichten Sie den Feststoff mit 1 mL Ethandiol.
- Erwärmen Sie die Mischung vorsichtig bei entleuchteter Flamme, bis eine klare Lösung entsteht.
- Schalten Sie den Brenner ab, und lassen Sie die Reaktionsmischung erkalten.
- Kurz vor Ende des Erkalten geben Sie das Lösungsmittel Aceton (10 mL) hinzu. Vergewissern Sie sich vorher, dass keine Zündquelle (Brenner etc.) vorhanden ist. Es ist schwierig, den richtigen Zeitpunkt der Acetonzugabe zu finden. Geben Sie das Aceton zu früh dazu,

verdampft es schlagartig. Bei zu später Zugabe verfestigt sich das Harz zu schnell und es entsteht ein fester Kunststoff.

- Überprüfen Sie die Klebeigenschaften Ihres Klebstoffs an verschiedenen Materialien.

Entsorgung: Der Klebstoff wird in den Hausmüll entsorgt.

Beobachtungen:

Arbeitsaufträge:

Informieren Sie sich über die Kondensation als Reaktionstyp.

Erläutern Sie den Reaktionsmechanismus.

Erklären Sie die unterschiedlichen Eigenschaften von Thermoplasten und Duroplasten mit Hilfe ihrer unterschiedlichen Struktur.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Es entsteht eine leicht gelbliche viskose Flüssigkeit, die in der Kälte aushärtet. Falls das Lösen des vorpolymerisierten Kunststoffes nicht gelungen ist, entsteht sofort der Duroplast. Das ist der ausgehärtete Klebstoff.

Hinweis: Das ausgehärtete Produkt kann in den Restmüllbehälter gegeben werden. Das Experiment lässt sich auch ohne Zugabe von Aceton durchführen. Dabei härtet der Kunststoff schnell aus, und das Glas kann nicht mehr verwendet werden.

Erläuterungen: Es entsteht zuerst ein linearer Polyester. Da dieser noch offene funktionelle Gruppen besitzt, reagiert er weiter. Dabei entsteht ein dreidimensionales Netzwerk. Dieses ist ein Duroplast. Die Polykondensation lässt sich an einer einfachen Modellskizze darstellen:

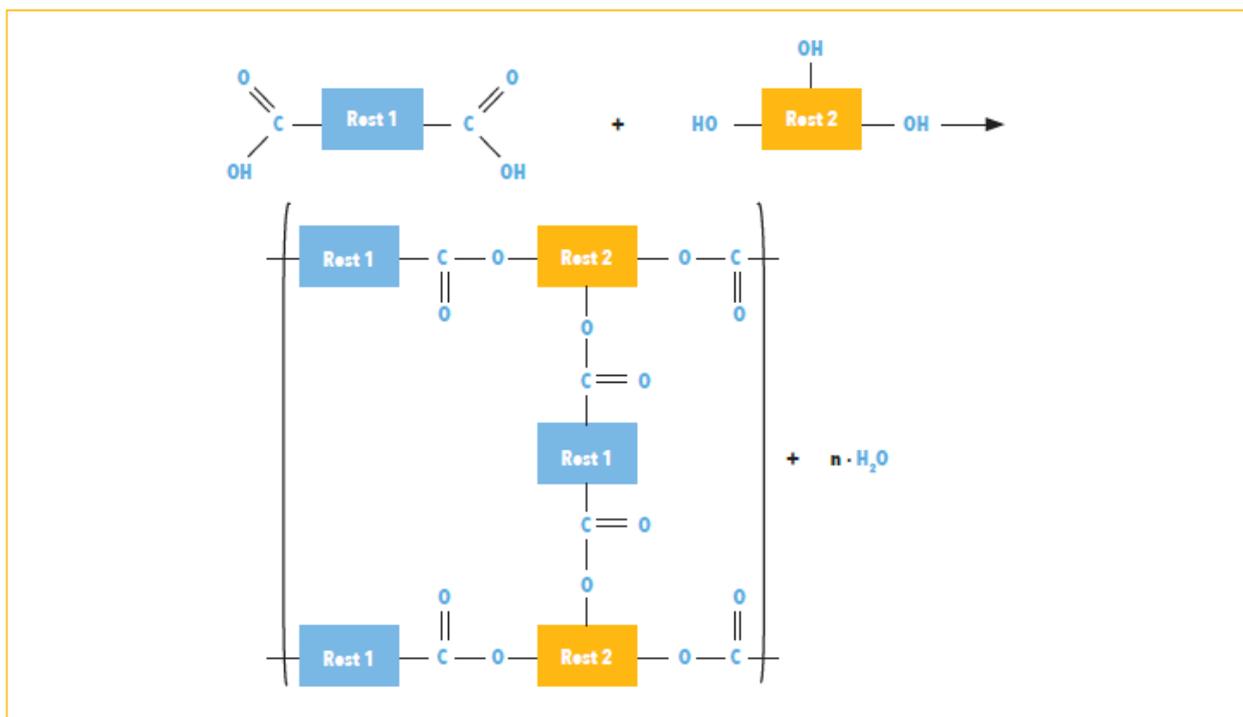


Abb. 8 Reaktionsskizze

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Brückmann, J. et al. (2001): Experimente zu Makromolekülen. - Köln: Skriptum des Arbeitskreises im Kölner Modell am Institut für Anorganische Chemie der Universität zu Köln.

<http://experimentalchemie.de/versuch-028.htm> (23-01-2015)

<http://roempp.com>

3.2 Topfzeit bei Zweikomponenten-Klebstoffen

Informationen: Bei Zweikomponenten-Klebstoffen liegen Harz und Härter getrennt vor. Bringt man die beiden Komponenten zusammen, startet die Aushärtungsreaktion. Ab diesem Zeitpunkt beginnt die Verarbeitungszeit, auch **Topfzeit** genannt, während der Klebstoff noch viskos ist und verarbeitet werden kann. Danach wird der Werkstoff durch den Klebstoff nicht mehr benetzt, und es tritt keine Klebwirkung ein.

Geräte: Zweikomponenten-Klebstoff mit Mischmulde, mehrere Zahnstocher

Chemikalien: 2K-Epoxidharz-Klebstoff, 2K-Polyacrylat-Klebstoff

Sicherheit: 2K-Epoxidharze-Klebstoff („Achtung“ ) , 2K-Polyacrylat-Klebstoff („Achtung“ )

Versuchsdauer: 25 min

Durchführung:

- Beachten Sie die Gefahrenhinweise der entsprechenden Klebstoffe.
- Mischen Sie die Komponenten, wie es auf der Gebrauchsanleitung angegeben ist.
- Um herauszufinden, wie lange das Gemisch nach dem Anrühren verarbeitbar ist, geben Sie einen Zahnstocher in Abständen von jeweils 1 Minute in die Mischung und ziehen ihn wieder heraus.
- Beobachten Sie die Veränderung in der Reaktionsmischung und entfernen Sie das Produkt nach dem Aushärten aus der Mulde.

Entsorgung: Die ausgehärteten Klebstoffe werden im Hausmüll entsorgt.

Beobachtungen:

Arbeitsaufträge:

Informieren Sie sich über die Bestandteile des Zweikomponenten-Klebstoffs.

Polyacrylat-oder Epoxidklebstoff! Nach welchem Mechanismus härten sie aus? (Polymerisationsreaktion)

Lehrerinformation:

Beispiele für 2K-Epoxidharz-Klebstoff:

z.B. Uhu 45585 - Zweikomponenten-Klebstoff Plus Endfest, Prestolith Special 2K – Epoxidharz, E, Uhu 49040 Repair All Powerkitt Klebstoff, DELO-DUOPOX 01 rapid, DELO-DUOPOX AD895

Beispiele für 2K-Epoxidharz-Klebstoff:

Pattex Stabilit Express, Uhu plus acrylit 2K-Acrylatklebstoff, DELO-MALFLEX 81393

Beobachtung: Beispiel: Pattex Stabilit Express Klebstoff von Henkel (ein Polyacrylharz-Klebstoff). Man beobachtet, wie vom Hersteller im Datenblatt angegeben, eine Topfzeit von zehn Minuten. Der Zahnstocher lässt sich herausziehen und wieder hineinstecken. Nach zehn Minuten entsteht eine homogene plastische Masse. Der Klebstoff lässt sich leicht aus der Anrührmulde herausheben und härtet innerhalb von zehn weiteren Minuten aus.

Erläuterungen: Die Aushärtungsreaktion beim Polyacrylat-Klebstoff ist eine radikalische Polymerisationsreaktion.

Bei den Epoxidharzen nun reagieren die Ethylenoxidringe in Additionsreaktion mit den funktionellen Gruppen der Härter (häufig Amine). Durch den katalytischen Einfluss der Amine finden anschließend anionische Polymerisationen der Epoxidgruppen statt.

Literatur: Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

3.3 PU-Klebstoff – Desmophen - Desmodur

Informationen: Polyurethan-Klebstoffe werden häufig in Kartuschen angeboten und eignen sich für die Verklebung von unebenen, rauen oder auch feuchten Bauteilen und Materialien wie Kunststoff, Holz, Metall, Stein und Beton. Der PU-Klebstoff eignet sich zudem hervorragend, um Unebenheiten auszufüllen und eine glatte Oberfläche zu erzeugen. Beim Austreten aus der Kartusche schäumt der PU-Klebstoff leicht auf und gleicht kleine Unebenheiten aus. Außerdem kann er durch seine Klebeeigenschaften selbst an vertikalen Flächen angebracht werden.

Geräte: Joghurtbecher, Holzstäbe, Waage

Chemikalien: Desmophen (Polypropylenetherpolyol), Desmodur (Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat)

Sicherheit: Es wird unter einem Abzug gearbeitet.

Desmophen (Polypropylenetherpolyol, „Achtung ) , Desmodur (Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat, „Gefahr“  )

Versuchsdauer: 10 min

Durchführung:

- Führen Sie den Versuch mit ausreichendem Schutz unter dem Abzug durch: Schutzbrille, Kittel und Schutzhandschuhe.
- Geben Sie in einen Joghurtbecher 8,6 g Desmophen®/Aktivatorgemisch und dann 12 g Desmodur® 44 V20.
- Rühren Sie diese Mischung so lange, bis die eintretende Gasentwicklung den Beginn der Reaktion anzeigt (Dauer 2 min).
- Im Abstand von einigen Zentimetern stecken sie zwei Holzstäbe in die Mischung. Dann überlässt man die Schaumbildung sich selbst.

Entsorgung: Entsorgen Sie die Reste im Hausmüll.

Beobachtungen:



Arbeitsauftrag: Erarbeiten Sie den Reaktionsmechanismus der Polyaddition.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Sowohl das Desmophen®/Aktivatorgemisch als auch Desmodur® 44 V20 sind sehr zähflüssige Substanzen. Beim Rühren beobachtet man zunächst die Bildung einer braun-weißen Emulsion, die beim weiteren Vermischen zu einer gelben Masse wird. Man beobachtet dann eine stärkere Gasentwicklung und Schaumbildung. Nach zwei Minuten ist das Gemisch auf das ca. Fünfzehnfache seines Volumens angewachsen. Es ist ein sehr poröser gelber Schaumstoff entstanden.

Der Becher wird sehr heiß. Manchmal schmilzt auch der Boden durch. Der Schaumstoff klebt an den beiden Holzstäben.

Nach dem Abkühlen wird der Schaumstoff sehr hart. Er kann erst dann angefasst werden und sollte nicht mehr kleben.

Hinweis: Der Versuch muss so durchgeführt werden, dass kein Desmophen® bzw. Desmodur® in die Atemwege bzw. auf die Haut gelangt. Sollte letzteres trotzdem geschehen, ist sofort die betreffende Hautstelle unter fließendem Wasser abzuspülen.

Erläuterungen: Die Polyaddition wurde 1937 von Otto Bayer durch die Entwicklung der Polyurethane in die Kunststoffchemie eingeführt. Die Polyurethane werden bevorzugt durch die Polyaddition von Di- oder Polyolen (Desmophen®) an Di- oder Polyisocyanate (Desmodur®) aufgebaut. Durch exotherme Reaktion der Hydroxyl-Gruppen mit den Isocyanat-Gruppen entstehen Carbamidsäureester-Gruppen (= Urethan-Gruppe).

Diese Reaktion hat der ganzen Stoffklasse den Namen Polyurethan gegeben. Je nach den verwendeten Ausgangsstoffen kann man lineare oder vernetzte Polyurethane erhalten, die für viele Anwendungen in Schaumstoffen, Elastomeren, Lacken, Klebstoffen, Beschichtungen und Fasern eingesetzt werden. Diese Variationsbreite der Polyurethane wird von keiner anderen Kunststoffklasse erreicht.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Müller, M.: Kunststoffe aus Makromolekülen. Leverkusen: BAYER AG (2001), S.136.

Brückmann, J. et al. (2001): Experimente zu Makromolekülen. - Köln: Skriptum des Arbeitskreises im Kölner Modell am Institut für Anorganische Chemie der Universität zu Köln.

3.4 PU-Klebstoff auf der Basis von Ricinusöl

Informationen: „Reaktivklebstoff“ ist eine Bezeichnung für Klebstoffe, die über chemische Reaktionen aushärten und abbinden. Diese Reaktionen werden durch Wärme, zugesetzte Härter oder andere Komponenten ausgelöst.

In diesem Experiment wird ein Naturstoff-Reaktivkleber auf der Basis von Ricinusöl vorgestellt. Ricinusöl enthält zu ca. 80-85 % des Triglycerides der Ricinolsäure. Ricinolsäure enthält am Kohlenstoffatom C-12 eine Hydroxyl-Gruppe. Diese ist verantwortlich für die zu beobachtende Polyaddition mit Polyisocyanaten zu Polyurethan.

Allgemeines Ablaufschema der Polyadditionsreaktion von Polyisocyanaten mit Alkoholen:

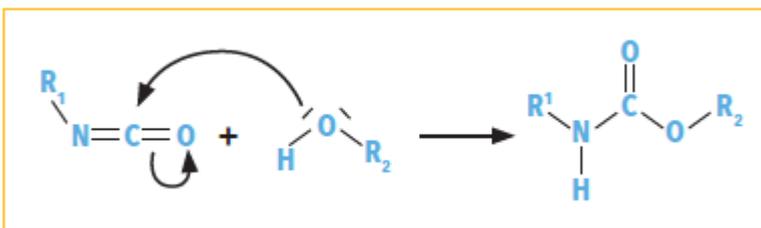


Abb. 9 Schematische Darstellung der Polyadditionsreaktion von Polyisocyanat mit einem Alkohol

Verwenden Sie für ihre Darstellung der ablaufenden Reaktion die vereinfachten Strukturformeln des Ricinolsäureesters und das Diphenylmethan-2,2'-diisocyanats

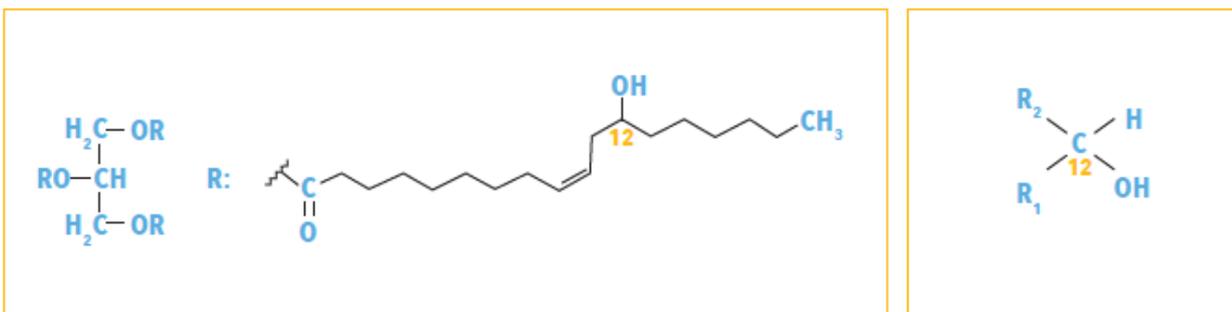


Abb. 10 Strukturformel (li) und vereinfachte Darstellung (re) von Ricinolsäure

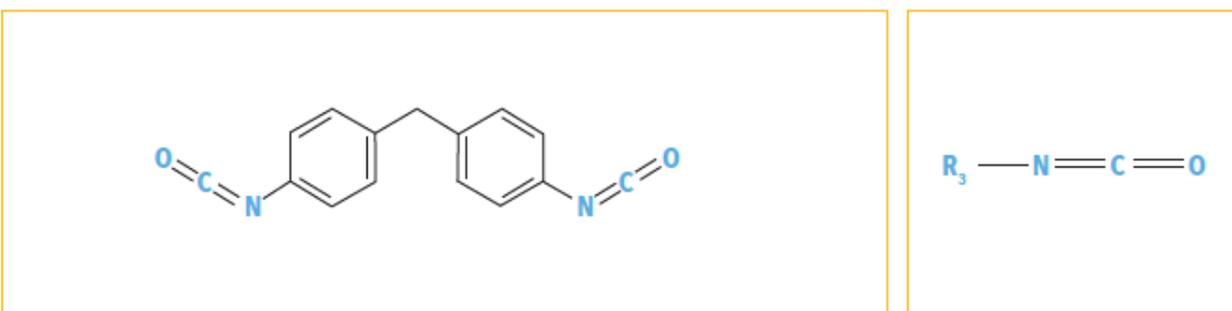


Abb. 11 Strukturformel (li) und vereinfachte Darstellung (re) von Diphenylmethan-2,2'-diisocyanat

Geräte: Pipette (10 mL), Peleusball, Glasstab, Gasbrenner, Feuerzeug, Reagenzglasklammer, Spatel, Reagenzglas, Handschuhe, Küchenrolle, Tiegelzange, Reagenzglasstopfen, Waage, Verklebungsmaterialien (Glasplatten, Pappe, Styropor, Holz, Kunststoff)

Chemikalien: Rizinusöl, Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat, 1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octan

Sicherheit: Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat („Gefahr“  ) , 1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octan („Gefahr“  )

Versuchsdauer: ca. 10 min ohne Klebversuche

Durchführung:

- Füllen Sie in ein Reagenzglas 4 g Rizinusöl.
- Fügen Sie 1,2 mL Diphenylmethandiisocyanat und eine Spatelspitze des Aktivators 1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octan hinzu.
- Die Komponenten werden gut gemischt und anschließend vorsichtig erhitzt.
- Erhitzen Sie nicht zu lange, da sonst die Polyadditionsreaktion schon im Reagenzglas endet und Klebversuche nicht mehr gelingen.
- Gute Kleberfolge erzielen Sie, wenn beim Erhitzungsvorgang kleine Klümpchen in der Lösung sichtbar werden. Die Reaktion ist dann hinreichend fortgeschritten, sodass Klebversuche durchgeführt werden können.

Entsorgung: Die Reaktionsprodukte werden im Restmüll entsorgt.

Reste von Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat und 1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octan müssen in dem entsprechenden Behälter für halogenfreie organische Lösemittel entsorgt werden.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Beschreiben Sie den Reaktionsweg unter Verwendung der vereinfachten Strukturformeln.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Die Klebeeigenschaften sind gut bis sehr gut bei Styropor, Glas, Sperrholz und Pappe.

Erläuterungen: Der Reaktionsweg lässt sich übersichtlich unter Verwendung der vereinfachten Strukturen für Rizinusöl und die Diphenylmethan-2,2'-diisocyanat darstellen.

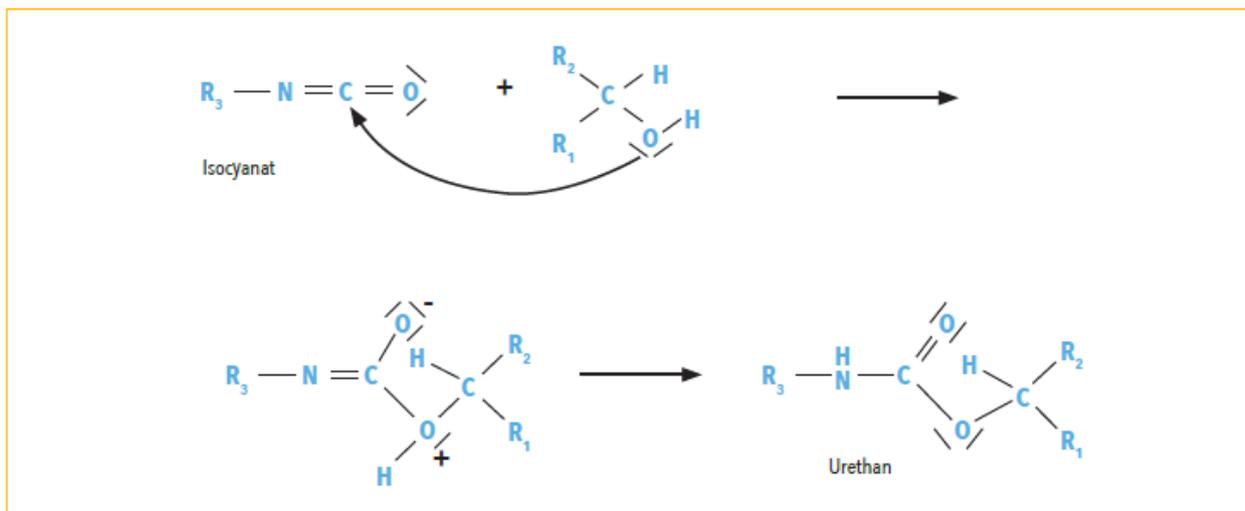


Abb. 12 Reaktionsmechanismus der Vernetzungsreaktion

Die Reaktion startet durch den nucleophilen Angriff der Hydroxyl-Gruppe der Ricinolsäure an das Kohlenstoffatom der Isocyanat-Gruppe. Das zunächst gebildete Zwischenprodukt besitzt zwei mesomere Grenzstrukturen, welche sich durch Verschiebung eines Protons zu einem Urethan stabilisieren. Die starke Vernetzung zu einem Polyurethan entsteht durch weitere Reaktionen der Hydroxyl-Gruppen der Ricinolsäure und der zweiten Isocyanat-Gruppe.

1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octan dient als Katalysator.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

<http://de.wikipedia.org/wiki/Rizinus%C3%B6l> (20.01.2015)

<http://www.experimentalchemie.de/versuch-027.htm> (20.01.2015)

3.5 Nachweis von Essigsäure bei der Vernetzung von Silikon

Informationen: Typische Vertreter von Polykondensationsstoffen sind Silikone. Diese werden unter anderem als Dichtstoffe verwendet. Die wichtigsten Vertreter sind die Acetoxy-Silikone, die beim Vernetzen Essigsäure freisetzen. Alkoxy-Silikone setzen Alkohole, u. a. Methanol oder Ethanol frei.

Geräte: vier kleine Schnappdeckelgläschen, Pasteurpipetten, Pinzette, Kartuschenpresse, Schere, Kupferblech

Chemikalien: dest. Wasser, Acetoxy-Silicondichtstoff, Alkoxy-Silikondichtstoff, Essigsäure ($c = 2$ mol/L)

Sicherheit: Essigsäure ($c = 2$ mol/L, „Gefahr“ ) , Acetoxy-Silikondichtstoff („Gefahr“  ) , Alkoxy-Silikondichtstoff („Gefahr“ )

Versuchsdauer: 10 min , Wartezeit 24 h

Durchführung:

- Schneiden Sie vier gleich große Kupferblechstreifen zu (0,5 cm breit, 2 cm lang).
- Füllen Sie in drei Schnappdeckelgläser so viel dest. Wasser, dass der Boden bedeckt ist.
- Stellen Sie in eines der Gläser einen unbehandelten Kupferstreifen als Blindprobe.
- Geben Sie auf ein Kupferblech einen Streifen Acetoxy-Silikondichtstoff, auf ein weiteres Blech einen Streifen Alkoxy-Silikondichtstoff, sodass jeweils eine (untere) Hälfte des Blechs damit bedeckt ist und Sie am oberen Teil noch gut anfassen können.
- Diese Streifen stellen Sie mit Hilfe einer Pinzette in je ein Schnappdeckelglas, sodass die Silikonseite ins Wasser taucht.
- Zum Vergleich geben Sie in ein Schnappdeckelglas gerade so viel Essigsäure, dass der Boden bedeckt ist. Dazu geben Sie einen Kupferstreifen.
- Verschließen Sie alle Gläschen und lassen Sie diese 24 Stunden stehen.

Entsorgung: Die Kupferstreifen können gereinigt und wieder verwendet oder zusammen mit dem ausgehärteten Silikondichtstoff in den Hausmüll entsorgt werden. Die Flüssigkeiten können in den Abfluss entsorgt werden.

Beobachtungen:



Arbeitsauftrag: Deuten Sie die Versuchsergebnisse.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Für die Alkoxy-Silikonmasse und die Blindprobe ist keine Veränderung des Kupferblechs feststellbar. Die Kupferblechstreifen mit der Acetoxy-Silikonmasse und der Vergleichsprobe zeigen bereits nach vier Stunden eine deutliche blaue Verfärbung oberhalb der Flüssigkeit. Nach 24 Stunden beginnt sich auch die Flüssigkeit blau zu färben.

Erläuterungen: Infolge der Einwirkung der Essigsäure ist Kupfer (II)-acetat (Grünspan) entstanden.

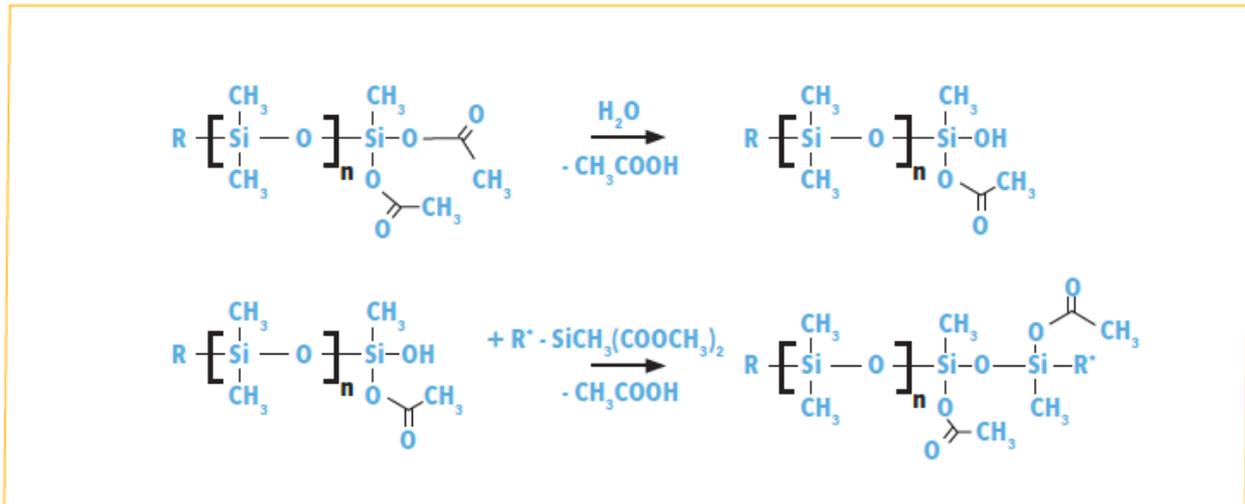


Abb. 13 Polykondensation von Aceto-Polysiloxanen (Hoßfeld, V., Lühken, A., 2015)

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Hoßfeld, V., Lühken, A. (2015): Einfache Polymerchemie im Badezimmer. CHEMKON 22, Nr.1, S. 37-39.

3.6 Schnellpolymerisation von Sekundenklebstoff

Informationen: Stimmt es eigentlich, dass Sekundenkleber sogar Nervenfasern verbindet?

Bereits kurz nach der Markteinführung des neuen Klebstoffs im Jahre 1958 wurde die Zulassung für medizinische Zwecke beantragt. Fortan zogen Ärzte ihn bei oberflächlichen Schnittwunden oder kleineren Operationen immer öfter der Nadel oder Klammer vor. Mit der Wundheilung fällt der Klebstoff nach wenigen Tagen ab, ohne zusätzliche Narben zu hinterlassen. Heute lassen sich auf diese Weise sogar feinste Nervenfasern neurochirurgisch miteinander verbinden.

Sekundenklebstoffe bestehen aus Cyanacrylaten, klaren Flüssigkeiten, die in Sekundenschnelle fest werden. Um die dabei ablaufenden Polymerisationsreaktionen auszulösen, genügt ein wenig Luftfeuchtigkeit.

Chemisch gesehen sind Cyanacrylat-Klebstoffe einkomponentige Reaktionsklebstoffe auf der Basis von monomeren 2-Cyanoacrylsäureestern, insbesondere der Methyl-, Ethyl- und Butyl-, gelegentlich auch der Methoxyethylester. Die Monomeren reagieren durch anionische Ionenkettenpolymerisation, zu deren Initiierung im allgemeinen Spuren von Feuchtigkeit genügen, zu hochmolekularen, unvernetzten Polymeren.

Geräte: Becherglas (100 mL), Messzylinder (25 mL), Pinzette

Chemikalien: Natronlauge (c = 2 mol/L), Sekundenklebstoff

Sicherheit: Natronlauge (c = 2 mol/L, „Gefahr“ ) , Sekundenklebstoff („Achtung“ )

Versuchsdauer: ca. 10 min

Durchführung:

- Geben Sie in das Becherglas ca. 20 mL verdünnter Natronlauge. Öffnen Sie die Tube des Sekundenklebstoffs.
- Tropfen Sie etwas von dem Sekundenklebstoff in die Natronlauge und warten Sie ca. 10 Sekunden.
- Nehmen Sie danach das feste Polymerisat mit einer Pinzette heraus.
- Wiederholen Sie den Versuch, indem Sie etwas von dem Sekundenklebstoff in 20 mL Wasser geben.

Entsorgung: Die Polymere können nach dem Aushärten in den Hausmüll gegeben werden.

Beobachtungen:

Arbeitsaufträge:

Ermitteln Sie die Strukturen von Acrylsäure und Cyanacrylsäure.

Wie verläuft die Veresterung einer Säure mit Methanol?

Lehrerinformation:

Beobachtung: In Natronlauge entstehen schnell milchig trübe, feste Tropfen als Polymerisat. In Wasser geschieht dieses langsamer.

Hinweis: Erst nach dem vollständigen Aushärten kann man das Polymer anfassen.

Erläuterungen: Bei Cyanacrylat-Klebstoffen reichen Spuren von Luftfeuchtigkeit, um die Polymerisation zu starten. Beschleunigt werden kann diese Reaktion durch Zugabe von Natronlauge. Dabei dienen die in der Natronlauge enthaltenen Hydroxyl-Ionen als Starter der anionischen Polymerisation. Die Reaktion wird durch einen nucleophilen Angriff am Alkylcyanacrylat gestartet, wodurch eine Kettenreaktion in Gang gesetzt wird.

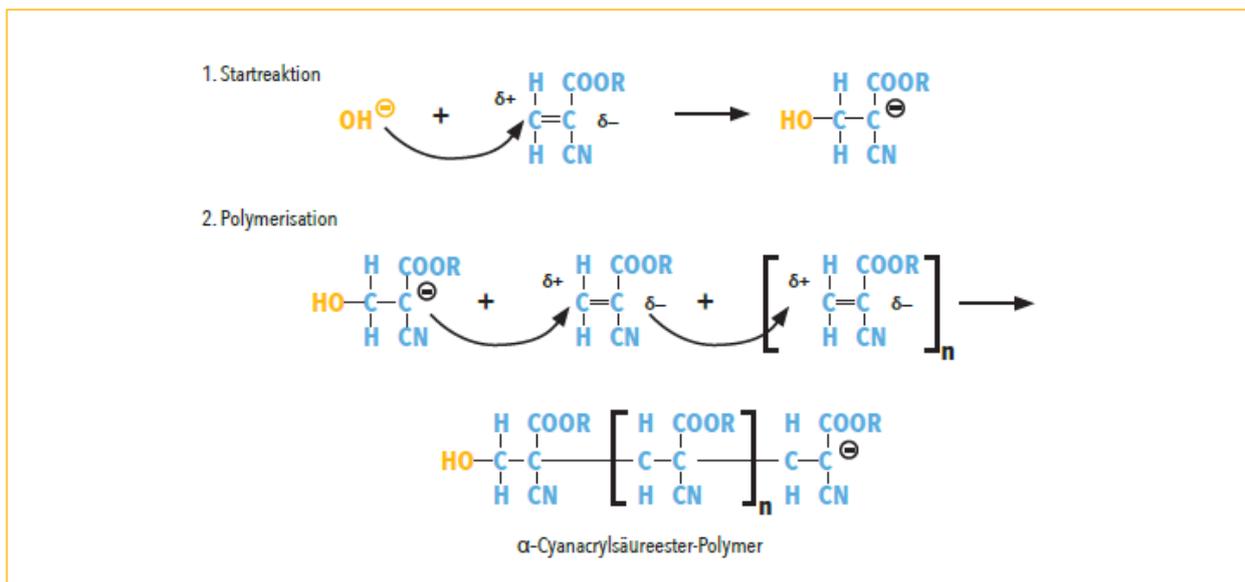


Abb. 14 Mechanismus der anionischen Polymerisation eines Alkylcyanacrylats

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

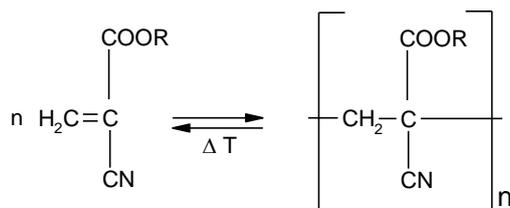
Wagner, G. (2004): Klebstoffe und Kunststoffe. NiU Heft 80, S.27.

Quarks und Co. (2000): Die Kunst des Klebens, WDR Köln.

www.roempp.com Stichwort: Cyanacrylat-Klebstoffe

3.7 Nachweis von Fingerabdrücken mit Sekundenklebstoff

Grundlage: Cyanacrylat-Klebstoffe sind Einkomponentenklebstoffe auf der Basis von monomeren 2-Cyanoacrylsäureestern. Sie härten sehr schnell durch Spuren von Wasser zu hochmolekularen, unvernetzten Polymeren aus. Fingerabdrücke - besonders solche auf Metall und Glas - können hierüber als grau-weißes Muster sichtbar gemacht werden.



Geräte: Variante 1: Kristallisierschale (Ø 14 cm), Heizplatte, Stockthermometer, Becherglas (50 mL), kleine Aluschale, Alufolie, Stativmaterial; Variante 2: Aluschälchen, Fön, Alufolie, Wegwerfpipette, Tiegellzange

Variante 3: Zusätzlich Kunststoffpetrischalen

Chemikalien: Cyanacrylat (Sekundenkleber), Ethanol

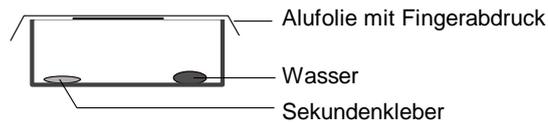
Sicherheitshinweise: Ethanol („Gefahr“ ) , Cyanacrylat („Achtung“ ). Cyanacrylat klebt innerhalb von Sekunden Haut und Augenlider zusammen. Cyanacrylat bzw. dessen Dämpfe sind reizend.

Zeitbedarf: 30 min

Durchführung:

Variante 1: Das Metallblech wird mit Ethanol entfettet und mit einigen Fingerabdrücken versehen. Alle weiteren Arbeiten erfolgen im Abzug. Man baut sich auf Grundlage einer Kristallisierschale zunächst eine Bedampfungsapparatur. Weiterhin füllt man ein 50-mL-Becherglas zur Hälfte mit Wasser und stellt es in die Kristallisierschale. Auf das Aluschälchen gibt man eine kleine Menge flüssigen Sekundenklebers und stellt diese ebenfalls in die Schale. Ein Stockthermometer wird so angebracht, dass es auf halber Höhe in die Kristallisierschale ragt. Die Schale wird mit Alufolie abgedeckt und der Innenraum über eine Heizplatte auf 40-60 °C aufgeheizt. Den metallenen Spurenlräger hängl man an den Innenrand der Schale. Die Entwicklung der Fingerabdrücke kann beobachtet werden und ist nach wenigen Minuten abgeschlossen.

Variante 2: Auf den Boden eines Aluschälchens gibt man ein paar Tropfen Sekundenkleber, daneben mittels Pipette ein paar Tropfen Wasser. Zum Abdecken verwendet man ein ausreichend großes Stück Alufolie. Auf dessen Unterseite machen Sie einen Fingerabdruck. Das Schälchen wird mit Alufolie abgedeckt; der vermutete Fingerabdruck soll sich auf der Innenseite befinden. Halten Sie das Schälchen mit der Tiegelzange vorsichtig fest und erwärmen Sie es mit dem Fön für mehrere Minuten.



Variante 3: Auf den Boden einer Kunststoffpetrischale gibt man ein paar Tropfen Wasser und daneben ein paar Tropfen Sekundenkleber. Auf der Innenseite des Deckels der Petrischale wird ein Fingerabdruck angebracht und der Deckel auf die Petrischale gelegt. Die Petrischale wird mit der Tiegelzange festgehalten und mehrere Minuten gefönt.

Beobachtung: Die Fingerabdrücke auf dem Metallstück und im Deckel der Petrischale sind als grau-weißes Linienmuster sichtbar.

Auswertung: Das monomere Cyanacrylat härtet sehr schnell durch Spuren von Wasser zu einem hochmolekularem Polymer aus. Aufgrund der relativ hohen Feuchtigkeit der daktyloskopischen Spur erfolgt die Polymerisation bevorzugt dort.

Entsorgung: Der ausgehärtete Cyanacrylat-Klebstoff wird als Hausmüll entsorgt.

Beobachtung:

Arbeitsauftrag: Formulieren Sie die ablaufende Reaktion.

3.8 Schraubensicherung mit anaerob härtendem Klebstoff

Informationen: Anaerob härtende Klebstoffe werden häufig zum Sichern von Schraubverbindungen eingesetzt. Diese Einkomponenten-Klebstoffe härten unter Ausschluss von (Luft-) Sauerstoff aus.

Geräte: Schutzbrille, Schutzhandschuhe, Gewindeschrauben mit Muttern (Edelstahl- und Eisenschrauben), Schraubenschlüssel, Küchenpapier

Chemikalien: anaerob härtender Klebstoffe, Aceton

Sicherheit: anaerob härtender Klebstoffe („Achtung“ ) , Aceton („Gefahr“  )

Versuchsdauer: 15 min

Durchführung:

- Entfetten Sie die Schrauben und Muttern mit Aceton **unter dem Abzug**.
- Tragen Sie auf jeder Schraube am Gewindeende zwei bis drei Tropfen Klebstoff auf.
- Schrauben Sie die dazugehörenden Schraubenmutter mit einigen Drehungen auf.
- Prüfen Sie nach fünf Minuten in regelmäßigen Abständen vorsichtig manuell, ob und wie der Klebstoff schon „angezogen“ hat.
- Je Werkstoff-/Klebstoff-Kombination lassen Sie eine Verschraubung mindestens 24 Stunden aushärten. Prüfen Sie sie dann mit einem passenden Schraubenschlüssel.

Entsorgung: Ausgehärtete Klebstoffproben können im Hausmüll entsorgt werden. Nach Gebrauch sind Tuben, Gebinde und Flaschen, die noch Restanhaftungen des Produkts enthalten, als Sondermüll zu entsorgen.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Informieren Sie sich über den zugrunde liegenden Reaktionstyp.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Die Verschraubung mit normalen Eisenschrauben ist bereits nach fünf Minuten recht fest. Die Auswertung der Edelstahlverschraubungen erfolgt langsamer, als das bei den normalen Eisenschrauben der Fall ist.

Hinweis: für diesen Versuch eignen sich zum Beispiel die Klebstoffe Loctite 542, DELO ML 5327 (mittelfest), Loctite 5331, DELO ML 5198 (niedrigfest).

Hinweise des Herstellers beachten! Hautkontakt vermeiden! Raum gut lüften! Dämpfe entzündlich! Alle Flammen löschen! Achtung! In der S I **nicht** als Schülerversuch durchführen lassen!

Vor der Durchführung sind gegebenenfalls die H- und P-Sätze von den Verpackungen der verwendeten Klebstoffe auf dem Arbeitsplatz zu ergänzen.

Erläuterungen: Die in diesen Klebstoffen eingesetzten Monomere von (modifizierten) Acrylsäureestern härten ähnlich denen der Methylmethacrylate nach einem Radikalketten-Mechanismus aus. Die Härtereaktion wird hierbei nur unter Ausschluss von Sauerstoff (anaerob) möglich. Dieser Mechanismus erklärt gleichzeitig die Hauptanwendung. Die Härtung wird katalysiert durch Metallionen und bedingt Sauerstoffausschluss. Die Verschraubung ermöglicht die Polymerisation daher in idealer Form. Die Aushärtung der Edelstahlverschraubung erfolgt aufgrund der geschlossenen Chromoxid-Oberflächenschicht (Passivierungsschicht) langsamer und/oder unvollständiger. Der notwendige Metallionenkontakt ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) kommt nicht bzw. zu selten zustande. Die Aushärtung lässt sich durch Erwärmen auf ca. 100 °C beschleunigen.

Lässt eine Schraubensicherung sich bei Raumtemperatur auch mit einem Schraubenschlüssel nicht lösen, so ist die Verschraubung auf ca. 150 °C zu erwärmen. Der Klebstoff entweicht, und die Verschraubung kann gelöst werden.

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

3.9 Härten eines Epoxidharzes mit einem Diamin

Informationen: Härter für Epoxidharze basieren z.B. auf Diethylentriamin. Der Versuch zeigt, dass auch andere Di- oder Polyamine als Härter fungieren können.

Geräte: Spatel, Laborwaage, Wägeschälchen, Holzstab, Trockenschrank (50°C)

Chemikalien: Hexamethyldiamin (1,6-Diaminohexan), Epoxidharz

Sicherheit: Hexamethyldiamin („Gefahr“ )

Versuchsdauer: 10 min, 15 min (oder über Nacht). Zeit zum Aushärten des Klebstoffs

Durchführung:

- 1 g eines Epoxidharzes wird in einem Wägeschälchen mit 0,2 g Hexamethyldiamin vermennt.
- Man lässt den Klebstoff entweder über Nacht aushärten, oder stellt ihn für 15 min bei 50°C in den Trockenschrank

Entsorgung: Reste des Klebstoffs werden nach dem Trocknen in den Hausmüll entsorgt.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag: Informieren Sie sich über die zugrunde liegende Reaktion.

Lehrerinformation

Der Feststoff Hexamethyldiamin ist mäßig löslich im Epoxidharz. Nach etwa 60 min ist ein deutliches Aushärten an der Oberfläche feststellbar. Zur vollständigen Aushärtung wird die Masse über Nacht stehen gelassen.

Das Aushärten kann man beschleunigen, indem die Masse für 15 min bei 50° C in den Trockenschrank gestellt wird

Das Reaktionsschema zeigt exemplarisch die Aushärtung mit Diethylentriamin. Mit Hexamethylen-triamin reagieren immer nur zwei der Epoxid-Moleküle verknüpft.

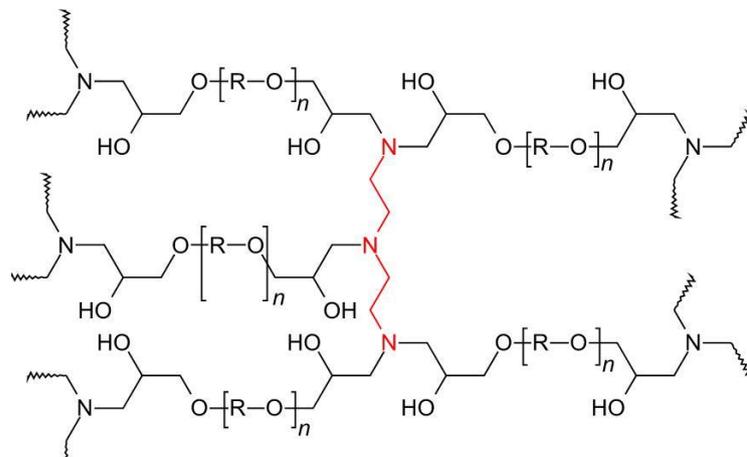


Abbildung:

Roland.chem - Eigenes Werk, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23409505>

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens

4 Klebstoffe aus Naturstoffen

4.1 Herstellen von Caseinleim

Informationen: Schon vor vielen Jahrhunderten vermischten Menschen Milch oder Quark mit Kalk und mit Erdfarben. Damit klebten, verputzten und dekorierten sie zum Beispiel Hauswände. Dieser Leim ist wasserfest und sehr hitzebeständig. Leime sind Klebstoffe auf Wasserbasis, wobei es sich um kolloidale Lösungen von tierischen, pflanzlichen oder synthetischen Grundstoffen in Wasser handeln kann. Leime bestehen hauptsächlich aus tierischen Proteinen, das sind stickstoffhaltige, organische Stoffe, die in kaltem Wasser unlöslich, aber quellbar sind. Caseinleim bezeichnet einen Klebstoff, der durch eine alkalische Behandlung des Ausgangsstoffes, in diesem Fall des Caseins der Milch, hergestellt wird. Heute noch wird Casein als Grundlage von Papier- und Holzleim verwendet, besonders für die Etikettierung von Flaschen, weil Caseinleime eine hohe Anfangsklebkraft auf kalten Flaschen zeigen und wasserbeständig sind. Casein ist der Haupteiweißbestandteil der Milch und besteht je nach Milchart aus 17 bis 18 verschiedenen Aminosäuren.

Geräte: Waage, Becherglas (50 mL), Glasrührstab, Messzylinder (20 mL), Wäscheklammern, Pinsel, Spatel, Sperrholzbrettchen o. Ä. (ca. 10 cm × 2,5 cm × 0,5 cm),

Chemikalien: Casein, Natronlauge (c = 2 mol/L)

Sicherheit: Natronlauge (c = 2 mol/L; „Gefahr“ )

Versuchsdauer: 10 min (ohne Klebeversuche)

Durchführung:

- Man gibt 10 mL verdünnter Natronlauge in ein Becherglas und löst unter Rühren 2 g Casein darin auf.
- Einige Minuten quellen lassen!
- Der Klebstoff wird vor dem Verarbeiten eventuell mit etwas Wasser streichfähig gemacht.
- Dann werden Klebversuche durchgeführt, dabei kann man Klebstellen mit Hilfe der Wäscheklammern so lange fixieren, bis der Klebstoff abgebunden ist.

Entsorgung: Die Zugabe von verdünnter Salzsäure führt zur Klumpenbildung des Caseins. Es kann in den Hausmüll entsorgt werden. Kleine Reste und das Natriumchlorid in Wasser können in den Abguss gegeben werden. Caseinleim kann nicht aufbewahrt werden.

Beobachtungen:



Auswertung:

Lehrerinformation:

Beobachtung: Es entsteht ein gelblich-weißer, milchige und zähflüssiger Klebeschaum. Der hergestellte Caseinleim braucht ca. 3 Minuten zum Trocknen. Er klebt Papier und Pappe gut, aber Holz nicht.

Erläuterung: Leime binden ab, indem das Lösemittel, hier die Natronlauge bzw. Wasser, verdunstet. Durch den zurückbleibenden Klebgrundstoff, hier das Casein, werden die Adhäsionskräfte ausgebildet. Solche Klebstoffe werden daher als Adhäsionsklebstoffe bezeichnet. Das Casein besteht aus 17 oder 18 Aminosäuren, darunter auch Asparagin- und Glutaminsäure. Der Abbindemechanismus setzt ein, weil bei der Zugabe der Natronlauge die Dicarbonsäuren deprotoniert werden. Unter Abspaltung von Wasser entstehen Ionenverbindungen zwischen Na^+ -Ionen und den Säuregruppen der Aminosäurereste. Es tritt eine zwei- bzw. dreidimensionale Vernetzung zwischen den Proteinketten ein, wodurch Casein als Klebstoff einsetzbar wird.

Zusammensetzung von Milcheiweiß

Milchproteine	g/L	% des Gesamtproteins
Gesamtprotein	33	100
Casein gesamt	26	79,5
α (s1)-Casein	10	30,6
α (s2)-Casein	2,6	8
α -Casein	9,3	28,4
α -Casein	3,3	10,1
Molkeproteine (Lactalbumin, BSA, Immunoglobuline, Lactoglobulin)	6,3	19,3

Tabelle 4: Proteingehalt der Milch (Quelle: <http://www.chemgapedia.de>)

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Wagner, G. (2004): Klebstoffe und Kunststoffe. NiU Heft 80, S.27.

Quarks und Co. (2000): Die Kunst des Klebens, WDR Köln.

4.2 Herstellen von Stärkekleister

Informationen: Der Begriff Kleister bezeichnet einen Klebstoff in Form eines wässrigen Quellungsprodukts, das im Unterschied zu Leimen schon in geringer Grundstoffkonzentration eine hochviskose, nicht Faden ziehende Masse bildet. Um Kleister aus reiner Stärke herzustellen, wird die Stärke zunächst mit kaltem Wasser angerührt und dann – je nach Stärkesorte – mit kochendem Wasser überbrüht oder durchgekocht. Stärke ist zum Beispiel in Mais, Kartoffeln und Reis enthalten. Der Stärkekleister gehört zu den physikalisch abbindenden Klebstoffen. Wässrige, physikalisch abbindende Klebstoffe bestehen aus einem Grundstoff als Bindemittel, welches aus natürlichen (z. B. Stärke) oder synthetischen (z. B. Polyvinylacetat) Polymeren bestehen kann. Im Klebstoff liegen die Polymere in einem Lösemittel oder Dispersionsmedium vor; dieses kann entweder Wasser oder ein leicht flüchtiges organisches Lösemittel sein. Stärkekleister gehört zu den auf Wasser basierenden Klebstoffen, die aus pflanzlichen Naturprodukten hergestellt werden. Dem Kleister werden verschiedene Zusatzstoffe wie Konservierungsmittel, Weichmacher, Stoffe zur Erhöhung der Wasserbeständigkeit, farbgebende Stoffe, Alterungs- und Oxidationsschutzstoffe zugesetzt.

Geräte: zwei Bechergläser (250 mL, weit), Glasrührstab, Laborpläne, Dreifuß, Wärmeschutznetz, Messzylinder (10 mL, 150 mL), Waage, Spatel, Pinsel, Papier und Pappe

Chemikalien: Maisstärke (o.Ä.), Wasser, Salicylsäure, Schreibpapier

Sicherheit: Salicylsäure („Gefahr“ )

Versuchsdauer: 15 min

Durchführung:

- Aus 10 g Stärke und 10 mL Wasser wird ein Brei hergestellt.
- Man erhitzt ca. 120 mL Wasser bis zum Sieden und löst den Brei unter Umrühren darin auf.
- Anschließend wird eine Spatelspitze Salicylsäure zugesetzt.
- Nun kann man mit Papier diverse Klebversuche durchführen.

Entsorgung: Die Stärkekleisterreste können mit Wasser in den Abguss gegeben werden. Der Stärkekleister kann luftdicht verschlossen 14 Tage aufbewahrt werden. Die Salicylsäure dient der Konservierung. Dadurch stellt sich ein pH-Wert von 2,5-3 ein, wodurch der Kleister weniger anfällig für Mikroorganismen ist.

Beobachtungen:



Arbeitsauftrag: Informiere dich über die Strukturen von Amylose, Amylopektin und Cellulose.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Es entsteht ein milchig-weißer dickflüssiger Kleister, der nach fünf Minuten Trockenzeit Papier und Pappe gut klebt. Das Papier weicht jedoch etwas durch.

Hinweise: Bereiten Sie das heiße Wasser möglichst vor dem Unterricht vor.

Erläuterung: In Verbindung mit Versuchen zur **Kohäsion** kann man anhand der ähnlichen Struktur des Stärkemoleküls und der Struktur von Cellulose sowie der zahlreichen funktionellen Gruppen auf eine große innere Festigkeit (Kohäsion), eine große Adhäsion und damit auf eine gute Klebwirkung schließen.

Stärkekleister sind in kaltem Wasser quellbar, aber unlöslich, ebenfalls sind sie unlöslich in organischen Lösemitteln (z. B. Aceton, Benzin, Alkohol, ist). Auf über 60 °C erhitzt, tritt eine irreversible Umordnung der Molekularstruktur und eine Volumenvergrößerung bis zum 40-Fachen ein. Die Stärke verkleistert, sie bindet durch Wasserverdunstung physikalisch ab.

Stärke besteht aus zwei Molekülformen: Der Amylose und dem Amylopektin. In der Amylose sind Glucosemoleküle überwiegend zu unverzweigten Ketten miteinander verbunden, die eine spiralförmige Helix bilden. In heißem Wasser suspendiert die Amylose in Lösung. Die einzelnen Moleküle der Amylose sind über eine α -1,4-glykosidische Bindung miteinander verknüpft.

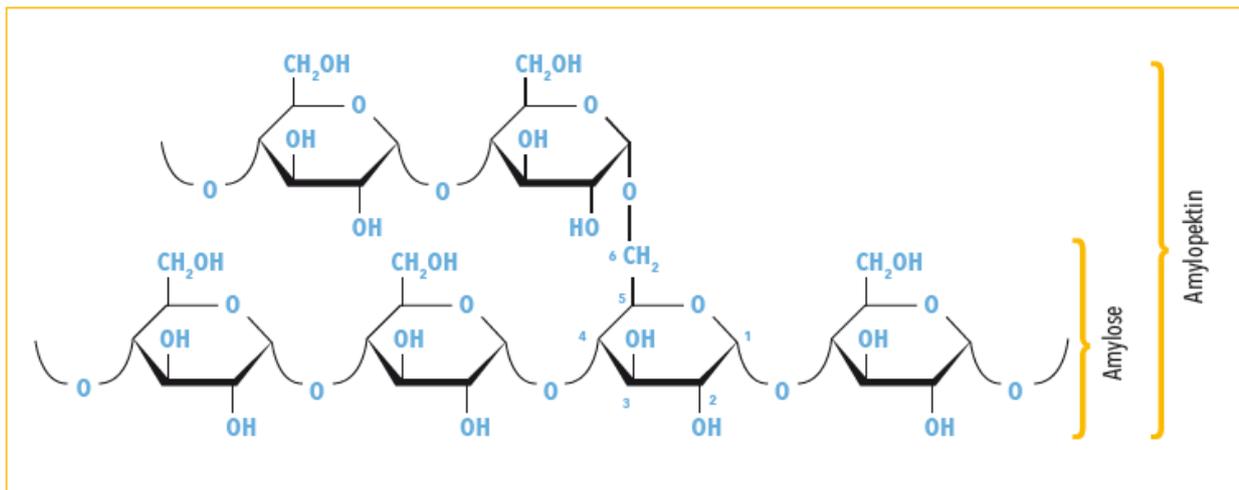


Abb. 15 Abbildung von Stärke (aus Roempp)

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Wagner, G. (2004): Klebstoffe und Kunststoffe. NiU Heft 80, S.27.

www.roempp.com Stichworte: Cellulose, Stärke.

4.3 Gelatineleim

Informationen: Leime bestehen aus stickstoffhaltigen, organischen Stoffen, die in kaltem Wasser unlöslich sind, aber darin quellen. Erst durch das anschließende Erwärmen werden sie löslich und entwickeln ihre Klebkraft. Beim Erkalten gelieren sie zu einer elastischen Masse, der Gallerte. Als einziger der ehemals vielen Vertreter ist zumeist nur noch die Gelatine bekannt. Bei Gelatine liegt eine hochgereinigte Substanz vor, die hauptsächlich aus Glutin besteht und Namensgeber für die ganze Gruppe der Glutinleime ist. Bei Gelatine wird heute hauptsächlich auf die Gelierfähigkeit geachtet, bei den Leimen auf die Klebkraft. Bei der Bezeichnung wird häufig das Rohprodukt als Namensgeber herangezogen, wie bei Knochen-, Haut- oder Lederleim.

Geräte: Becherglas (100 mL), Glasrührstab, Spatel, Heizplatte, Thermometer, Messzylinder (25 mL), Waage, Kristallisierschale

Chemikalien: Glycerin, Speisegelatine, demineralisiertes Wasser, Zucker

Sicherheit: -

Versuchsdauer: ca. 40 min

Durchführung:

- Gib 0,5 mL Glycerin, 7,5 g Zucker und 20 mL Wasser in das Becherglas.
- Rühre die Gelatine gut unter und lasse das Gemisch ca. eine halbe Stunde bei Raumtemperatur stehen.
- Die erhaltene Masse lässt du anschließend im Wasserbad bei 50 - 60 °C schmelzen.
- Führe Klebversuche mit Papier, Holz und Kunststoff durch.

Entsorgung: Der Leim wird in den Hausmüll entsorgt.

Beobachtungen:

Arbeitsauftrag:

Vergleiche die Klebwirkung mit anderen Leimen.

Lehrerinformation:

Beobachtung: Die Klebewirkung ist hervorragend.

Hinweise: Der Gelatinekleber erstarrt sehr schnell an der Luft.

Erläuterung: Chemisch gesehen ist Gelatine ein Gemisch von Polypeptiden. Das Gemisch wird vornehmlich durch eine mehr oder weniger weit geführte Hydrolyse des in Schwarten vom Schwein, in der Spalthaut des Rindes/Kalbes sowie deren Knochen enthaltenen Collagens gewonnen. Die Weltproduktion beträgt etwa 270.000 Tonnen/Jahr. In den Handel gelangt Gelatine für den Lebensmittelbereich vorwiegend als Granulat, daneben als Blattgelatine und als Lösung. Die Aminosäurezusammensetzung entspricht weitgehend der des Collagens, aus dem sie gewonnen wurde, und enthält mit Ausnahme des Tryptophans und des Methionins alle essenziellen Aminosäuren; Leitaminosäure ist Hydroxyprolin. Gelatine enthält neben wenig Wasser 84-90 % Eiweiß und 2-4 % Mineralstoffe. Gelatinemoleküle bilden große Netze. Wird die Gelatine in Wasser zum Quellen gebracht, lagert sich das Wasser in den Freiräumen des dreidimensionalen Netzwerkes der Riesenmoleküle ein. Gelatine kann entweder als Sol (gelöst) oder als Gel (fest) vorliegen. So lässt die Bezeichnung für eine kolloidale Lösung, in der ein fester oder flüssiger Stoff in feinsten Verteilung in einem festen, flüssigen oder gasförmigen Medium dispergiert ist. Bei gasförmigen Dispersionsmedien spricht man von Aerosolen. Durch Koagulation (Verlockung, Auswirkung) geht ein Sol in ein Gel über.

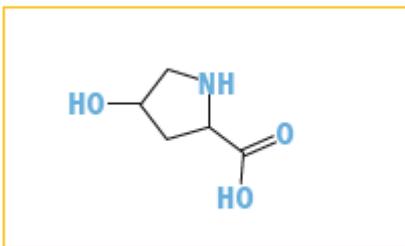


Abb. 16 Hydroxyprolin

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015):
Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

<http://www.roempp.com/prod/index1.html>

<http://www.wikipedia.org/wiki/Hydroxyprolin> (20-08-2007)

4.4 Klebstoff aus Gummibärchen

Informationen: Gummibärchen werden aus Saccharose und anderen Zuckerarten, Glukosesirup und Invertzucker unter Verwendung von gelbildenden Stoffen wie Agar-Agar, Pektin, Gelatine, Stärke sowie unter Zusatz von Säuren, färbenden Stoffen und Aromastoffen hergestellt. Können Lebensmittel als Klebstoffe verwendet werden? Seit mehr als 6000 Jahren sind Klebeverbindungen bekannt, bei denen als Materialien für die Klebstoffe pflanzliche und tierische Rohprodukte verwendet wurden. Diese Produkte enthalten Kohlenhydrate oder Proteine, die durch Verdunsten des Lösemittels – Wasser – abbinden.

Geräte: Becherglas, Wasserbad, Thermometer, Heizplatte, Pinsel, Glasstab, Wägeschälchen aus Plastik, Objektträger aus Glas, Papier

Chemikalien: fünf Gummibärchen einer Farbe, dest. Wasser

Sicherheit: -

Versuchsdauer: 15 min zur Herstellung des Gummibärchenklebers und etwa 15 min Beobachtungszeit

Durchführung:

- Gib fünf Gummibärchen einer Farbe in ein kleines Becherglas. Erwärme sie vorsichtig in einem Wasserbad auf 60 °C.
- Zu dieser Masse gibst du einige mL Wasser, bis sich die Mischung gut mit einem Pinsel verstreichen lässt.
- Teste die Klebwirkung der Masse an drei verschiedenen Materialien.

Entsorgung: Der Leim kann im Hausmüll entsorgt werden.

Beobachtungen:

Arbeitsaufträge:

Vergleiche die Klebwirkung der Masse an den drei verschiedenen Materialien.



Recherchiere, welcher Stoff hier als Klebstoff dient: Proteine oder Kohlenhydrate?

Lehrerinformation:

Beobachtung: Die Gummibärchen schmelzen in ca. zehn Minuten zu einer zähen, klebrigen Masse. Die Geräte lassen sich gut mit Wasser reinigen.

Gummibärchenmasse zwischen Wägeschälchen (Plastik) aufgetragen:

Die Plastikschälchen haften mit der Zeit immer besser aneinander. Nach fünf Minuten zieht der Klebstoff noch Fäden, wenn man die Schälchen trennen will. Nach 15 Minuten benötigt man schon einen größeren Kraftaufwand, um die Schälchen voneinander zu lösen.

Gummibärchenmasse zwischen Objektträgern (Glas) aufgetragen:

Die Objektträger haften von Anfang an gut aneinander. Nach 15 Minuten hat sich die Klebfähigkeit noch weiter verstärkt.

Gummibärchenmasse zwischen Papier aufgetragen:

Nach 15 Minuten kleben die Papierhälften ähnlich stark wie wiederverschließbare Briefumschläge.

Hinweise: Bei dem Versuch sollte man gut rühren, sonst entstehen Klumpen, die jedoch die Klebwirkung nicht wesentlich beeinträchtigen.

Erläuterung: Gummibärchen enthalten zwei Hauptbestandteile: Zucker und Gelatine. Der wirksame Klebstoff ist die Gelatine, wobei die Mischung mit den Kohlenhydraten besser klebt als Gelatine allein. Gelatine besteht aus drei schraubenförmig ineinander verschlungenen Protein-Molekülketten. Durch Querverbindungen zu anderen Molekülen bilden sich ausgedehnte Netze. Deshalb ist Gelatine zunächst eine feste Substanz. Damit daraus ein Klebstoff entsteht, wird die Gelatine in Wasser zum Quellen gebracht. Dabei lagert sich das Wasser in den Freiräumen des dreidimensionalen Netzwerkes der Riesennmoleküle ein. Diesen Prozess kann man auch unmittelbar beobachten, denn quellende Gelatine saugt Wasser wie ein Schwamm auf. In warmem Wasser löst sich die gequollene Gelatine auf, wobei sich die miteinander vernetzten Riesennmoleküle voneinander trennen und frei im Wasser herumschwimmen. Diesen Zustand nennt man „Sole“. Da Eiweiße sehr hitzeempfindlich sind, darf die Temperatur für die Solbildung keinesfalls auf über 60 °C ansteigen. Im „Solzustand“ ist der Gelatineklebstoff also flüssig, im späteren, abgekühlten Zustand als Gelatine-Gel hingegen fest. Diese beiden Aggregatzustände – flüssig und fest – liegen beim Gelatineklebstoff sehr eng beieinander. Wird der Klebstoff aufgetragen, kommt er an die Luft und erstarrt in Bruchteilen von Sekunden, noch bevor das Lösungsmittel, also Wasser, komplett entwichen ist. Man spricht von einem schnellen Anzug. Aus diesem Grund kommt Gelatineleim nach wie vor überall dort zum Einsatz, wo es auf gute Anfangsfestigkeit ankommt, zum Beispiel in der Buchproduktion. Hier benötigt man Gelatineleim, weil man nur mit ihm den äußeren Einschlag der Buchdecke verkleben kann.

Gelatineleim verklebt nur poröse Materialien, also vor allem natürliche Werkstoffe wie Holz, Leder oder Papier. Betrachtet man diese Materialien durch die Lupe, werden unzählige Vertiefungen, Ritzen und Nischen sichtbar, in die der Klebstoff fließt. Geht der Leim vom Sol- in den Gelzustand über, erstarrt der Klebstoff, und die Moleküle sitzen fest – mit dem einen Ende im zu klebenden Material, mit dem anderen im Netzwerk der Gelatine. Gleichzeitig beginnt der Klebstoff abzubinden, dazu muss sich das Wasser verflüchtigen. Ein Teil zieht in den Werkstoff – deshalb kann man keine wasserabweisenden Materialien wie Kunststoff mit Gelatineleim kleben – der Rest entweicht über

die Klebefuge. Zum Schluss kommt nochmals faszinierende Chemie ins Spiel, denn die riesenhaften Molekülspiralen ziehen sich jetzt zusammen. Dabei entwickeln sie eine enorme Kraft, die Klebefuge schrumpft auf ein Minimum, und der Klebstoff hält nun felsenfest (verändert nach <http://www.hobbythek.de/archiv/306/>).

Literatur:

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Unterrichtsmaterial Klebstoffe – Die Kunst des Klebens.

Chemie Entdecken: (2002) Experimentalwettbewerb der Klassenstufen 6 – 10 in NRW.

Hobbythek WDR: <http://www.hobbythek.de/archiv/306/> (25.08.2004)

4.5 Reifenkleber aus Kautschuk

Informationen: Bei der Gummilösung z.B. zur Reparatur undichter Reifen handelt es sich um in Lösungsmitteln aufgelösten Kautschuk. Als Lösungsmittel können hierbei Kohlenwasserstoffe dienen.

Geräte: Gummi-Fügeteile (Reste von Fahrradreifen), Becherglas (50 mL), Laborwaage, Wägeschälchen, Messer, Spatel, Pipette (10 mL) mit Peleusball, Glasstab, Heizplatte, Schere

Chemikalien: Benzin (Sdb. 100-140 °C)

Sicherheit: Es wird unter einem Abzug gearbeitet.

Benzin (Sdb. 100-140 °C; „Gefahr“ )

Versuchsdauer: 60 min Durchführung

Durchführung:

Herstellung der Kautschuklösung:

- Es werden 0,5 g Naturkautschuk abgewogen, zerkleinert und in ein Becherglas gegeben.
- Weiter werden 10 mL Benzin mit einer Pipette hinzugegeben.
- Unter Rühren wird der Naturkautschuk in dem Benzin gelöst und mit einem Spatel an der Wand des Becherglases zerdrückt. Zusätzlich wird die Lösung auf etwa 50°C erwärmt.
- Nach etwa 45 min wird eine gelbliche viskose Kautschuk-Lösung erhalten.

Klebetests:

- Mit der Gummilösung werden Klebeversuche an alten Gummischlauchresten durchgeführt: Diese werden zunächst mit etwas feinem Schmirgelpapier angeraut, dann wird von der Gummilösung aufgetragen und die Gummireste zusammengepresst. Nach etwa 24 Stunden kann die Belastung geprüft werden.

Entsorgung: Die Reste des Klebstoffs werden nach dem Trocknen in den Hausmüll entsorgt.

Beobachtung:

Lehrerinformation:

Beobachtung: Beim Lösen des Naturkautschuks in Benzin quillt dieser zunächst etwas auf, ehe er sich langsam löst. Nach dem Auflösen entsteht eine gelbliche viskose Lösung.

Literatur:

Müller, B. , Rath, W. (2004). Formulierung von Kleb- und Dichtstoffen, Vincentz Network, Hannover, S 225-229.

Habenicht, G. (2009). Kleben – Grundlagen, Technologien, Anwendungen, 6. Auflage, Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, S. 191-199.

<http://www.bsnmedical.de/fileadmin/z-countries/0-Germany/PDF/Publikationen/Pflasterfibel.pdf>

4.6 Kontorleim aus Gummi arabicum

Informationen: Eine Möglichkeit einen Leim auf pflanzlicher Basis darzustellen, besteht in der Verwendung von Gummi arabicum. Hierbei handelt es sich um den Milchsaft der Rinden des Gummiarabikum-Baumes (einer Akazie).

Geräte: Becherglas (100 mL), Glasstab, Laborwaage, Spatel, Pipette (10 mL, 2 mL, 1 mL) mit Peleusball, Wägeschälchen, Pappe oder Papier

Chemikalien: Gummi arabicum, Aluminiumsulfat Octadecahydrat, Glycerin, Essigsäure (w = 25 %)

Sicherheit: Essigsäure (w = 25 %; „Achtung“ ) , Gummi arabicum („Achtung“ ) , Aluminiumsulfat Octadecahydrat („Gefahr“ )

Versuchsdauer: 30 min

Durchführung:

- In ein Becherglas (100 mL) werden 5 g Gummi arabicum eingewogen. Mit Hilfe einer Pipette (10 mL) werden 8 mL dest. Wasser dazugegeben und es wird mit einem Glasstab gerührt, bis alles vollständig gelöst ist.
- Zu dieser Lösung werden anschließend der Reihe nach 1 mL Glycerin und 2 mL Essigsäure (25%ig) zugegeben.
- Man fügt 0,5 g Aluminiumsulfat Oktadecahydrat hinzu und rührt erneut mit dem Glasstab gut um.
- Mit der erhaltenen Lösung wird ein Klebetest auf Pappe oder Papier durchgeführt.

Entsorgung: Die Reste des Klebstoffs werden nach dem Trocknen in den Hausmüll entsorgt.

Beobachtungen:

Auswertung:

Lehrerinformation:

Beobachtung: Das Gummi arabicum verklumpt zunächst etwas beim Einrühren in Wasser, kann aber durch weiteres Rühren vollständig gelöst werden, so dass eine homogene Lösung entsteht. Das in Wasser gelöste Gummi arabicum besitzt an sich bereits eine gewisse Klebrigkeit. Nach Zugabe der Essigsäure erhöht sich diese etwas. Es entsteht eine weißliche leicht viskose Lösung.

Gummi arabicum (auch Gummiarabikum, Arabisches Gummi) wird aus dem Wundsaft von verschiedenen, in Afrika verbreiteten Akazienbäumen gewonnen. Chemisch gesehen ist es ein Gemisch aus Polysacchariden.

Literatur: Habenicht, G. (2009). Kleben – Grundlagen, Technologien, Anwendungen, 6. Auflage, Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, S. 141-146.

4 Liste aller verwendeten Gefahrstoffe

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	H-Sätze	P-Sätze
Aceton		„Gefahr“	H314, H290	P280, P330+331, P305+351+338, P308+310
Acetoxy-Silicondichtstoff		„Gefahr“	H302, H314	P280, P302+352, P305+351+338
Alkoxy-Silicondichtstoff		„Gefahr“	-	-
Aluminiumsulfat Octadecahydrat		„Gefahr“	H318	P P305+351+338, P310
anaerob härtender Klebstoffe		„Achtung“	H319, H335, H412	P261, P273, P337+313
Benzin (Sdb. 100-140 °C)		„Gefahr“	H225, H315, H304, H336, H411	P210, P273, P301+310, P331, P302+352
Brennspiritus		„Gefahr“	H225	P210
Cyclohexan		„Gefahr“	H225, H304, H315, H226, H410	P210, P240, P273, P301+310, P331, P403+235
Desmodur (Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat)		„Gefahr“	H315, H317, H319, H332, H334, H335, H351, H373	P102, P308+313, P302+352, P304+341, P305+351+338
Desmophen (Polypropylenetherpolyol)		„Achtung“	H302	P102, P301+312
1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octan		„Gefahr“	H228, H302, H315, H319, H335, H412	P210, P261, P273, P305+351+338
2K-Epoxidharz-Klebstoff		„Achtung“	-	s. Herstellerhinweise
Essigsäure (w = 25 %)		„Achtung“	H290, H314	P280, P308+310, P301+330+331, P305+351+338
Essigsäure (c = 2 mol/L)		„Gefahr“	H315, H319	P305+351+338
Ethandiol		„Achtung“	P302, P373	-
Ethanol		„Gefahr“	H225, H319	P210, P240, P403+233, P305+351+338

Ethylacetat (Essigsäureethylester)		„Gefahr“	H225, H319, H336	P210, P240, P305+351+338
Gummi arabicum		„Achtung“	H319	P305+351+338
Kolophonium		„Achtung“	H317	P280
Natronlauge (c = 2 mol/L)		„Gefahr“	H314, H290	P280, P330+331, P305+351+338, P308+310
Pattex® Kraftkleber Classic		„Gefahr“	H225, H315, H319, H336, H411	P102, P101, P210, P261, P271, P273, P280, P403
Phthalsäureanhydrid		„Gefahr“	H334, H317	P342+311
2K-Polyacrylat-Klebstoff		„Achtung“	-	s. Hersteller- hinweise
Salicylsäure		„Gefahr“	H302, H318, H315, H335	P261, P270, 280, P302+352, 305+351+338
Sekundenklebstoff		„Achtung“	H315, H319, H335	P261, P302+350, P305+351+338
Zinkoxid		„Achtung“	H410	P273