

Organisch-chemisches Praktikum für das Lehramt (LA)

Torsten Lasse

Leitung: Dr. P. Reiß

WS 2008/09

Assistent: Tobias Gerhardt

**Schulversuch (Gruppe 8/Assistentenversuch):
Entfernung hartnäckiger Flecken mit Waschmittelenzymen**

Verschiedene Flecken werden mit spezifischen Waschenzymen entfernt und deren Wirkungen beschrieben.

Zeitbedarf*Vorbereitung: 15 Minuten**Durchführung: etwa 3 Stunden**Nachbereitung: etwa 10 Minuten***Reaktionsgleichung**

-

Chemikalien und eingesetzte Substanzen

Eingesetzte Stoffe	Summenformel	Menge	R-Sätze	S-Sätze	Gefahrenkennzeichnung / Bemerkung	Schuleinsatz (nach Soester Liste u. HessGiss)
Biozym SE (Amylase, Protease), von <i>Spinnrad</i>	-	nach Bedarf	-	-	-	-
Biozym FHT (Lipase), von <i>Spinnrad</i>	-	nach Bedarf	-	-	-	-
Dr. Beckmanns Fleckensalz (Cellulase)	-	nach Bedarf	-	-	-	-
Feinwaschmittel (ohne Enzyme)	-	nach Bedarf	-	-	-	-
Fleckensubstanzen (Eiklar, Kakao, Lippenstift, Gras)	-	nach Bedarf	-	-	-	-

Geräte und Materialien

Leinentuch
 Plastikschalen 8x
 Plastikwanne
 Thermometer
 Teelöffel, Messbecher

Versuchsaufbau



Abb. 1: Verwendete Materialien



Abb. 2: Leinenstücke mit Verschmutzungen (v.n.l.r.: Eiklar, Gras, Kakao, Lippenstift). Jeweils doppelte Ausführung

Durchführung

Aus einem sauberen Leinentuch wurden 8 etwa gleich große, rechteckige Stücke geschnitten. Jeweils 2 Stücke wurden mit Eiklar, Gras, Kakao und Lippenstift verschmutzt (s. Abb. 2). Im Folgenden wurde eine Plastikwanne mit auf 40 °C temperiertem Wasser zu $\frac{1}{4}$ gefüllt.

Für die laufende Kontrolle der Temperatur wurde ein Thermometer ins Wasser gelegt. Bei sinkender Temperatur wurde schnell heißes Wasser nachgefüllt, sodass die Temperatur einigermaßen konstant gehalten werden konnte. Der erste Satz an unterschiedlich verschmutzten Leinenstücken wurde nun in jeweils eine Plastikschaale gegeben und schwimmend auf die Wasseroberfläche gesetzt. Nun wurde zu den Leinenstücken etwa 1 Teelöffel der verschiedenen Waschmittel gegeben und etwa 100 mL temperiertes Wasser zugefügt. Die Temperatur des Wassers in den Plastikschaalen konnte durch das temperierte Wasser in der Plastikwanne auf etwa 40 °C gehalten werden. Zum mit Eiklar verschmutzten Leinenstück wurde Biozym SE (Protease) gegeben, zum mit Gras verschmutzten Leinenstück Dr. Beckmanns Fleckensalz (Cellulase), zum mit Kakao verschmutzten Leinenstück (jeweils ein halber Teelöffel) Biozym SE und Biozym FHT (Amylase, Protease, Lipase) und zum mit Lippenstift verschmutzten Leinenstück Biozym (Lipase) gegeben (s. Abb. 3). Bei gelegentlichem Umrühren wurden die Ansätze nun beobachtet.

In einem ergänzenden Kontrollversuch wurde mit dem zweiten Satz an verschiedenen Leinenstücken erneut wie zuvor verfahren, jedoch wurde allen 4 Ansätzen 1 Teelöffel Feinwaschmittellösung in 100 mL Wasser zugesetzt (s. Abb. 4).

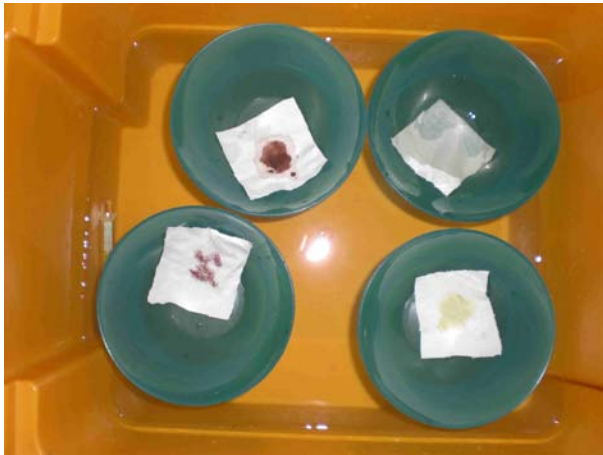


Abb. 3: Ansätze unmittelbar nach Zugabe der Waschsubstanzen

(jeweils o.l.: Kakao, u.l.: Lippenstift, o.r.: Eiklar, u.r.: Gras)



Abb. 4: Kontrollversuch unmittelbar nach Zugabe der Feinwaschmittellösung

Beobachtung

Es zeigte sich, dass in den Ansätzen mit den verschiedenen Waschsubstanzen eine effektive Fleckenentfernung stattfand. Bereits nach 15 Minuten konnten deutlich schwächere Flecken beobachtet werden (s. Abb. 5). Nach etwa 35 Minuten Einwirkzeit waren die Flecken nahezu vollständig entfernt, lediglich beim Kakao und beim Lippenstift konnten noch leichte Verfärbungen beobachtet werden¹ (s. Abb. 6 / Abb. 7). Es fiel eine Färbung des Waschwassers in der Farbe der entsprechenden Flecken auf.



Abb. 5: Ansätze mit den verschiedenen Waschsubstanzen nach 15 Minuten

¹ Auch nach 1 ½ Stunden weiterer Einwirkzeit änderte sich dieses Ergebnis nicht.



Ansätze mit verschiedenen Waschsubstanzen nach 1 ½ Stunden

Abb. 6: l: Eiklar, r: Gras



Abb. 7: l: Kakao, r: Lippenstift

Beim in Ergänzung durchgeführten Kontrollversuch mit der Feinwaschmittellösung konnte auch nach etwa 1 ½ Stunden keine nennenswerte Fleckenentfernung beobachtet werden (s. Abb. 8/ Abb. 9).



Kontrollversuch: Ansätze mit der Feinwaschmittellösung nach 1 ½ Stunden

Abb. 8: l: Eiklar, r: Gras

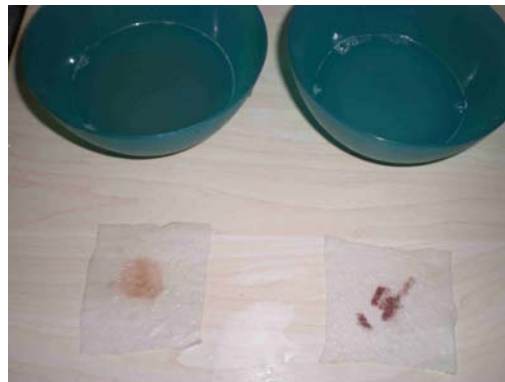


Abb. 9: l: Kakao, r: Lippenstift

Entsorgung

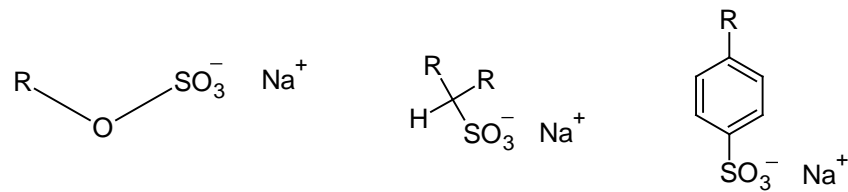
Die Waschansätze sowie die Leinentücher konnten im Ausguss bzw. normalen Hausmüll entsorgt werden.

Fachliche Analyse²

Moderne synthetische Vollwaschmittel für Textilien setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Einige Beispiele sollen hier genannt werden:

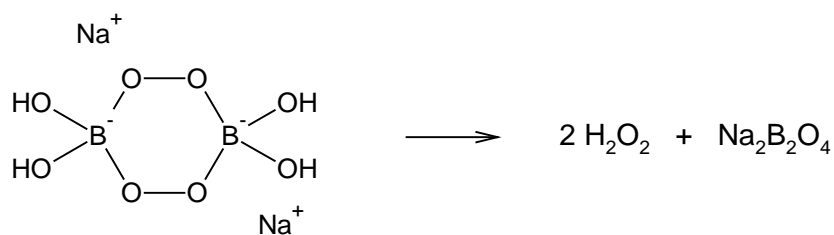
² Die auf Seifen und Tensiden (etc.) beruhende Waschmittelwirkung soll im Protokoll „Verseifung von Triglyceriden“ besprochen werden – der Fokus lag in diesem Experiment auf der Wirkung spezifischer Enzyme.

Als *waschaktive Komponente* dienen vorrangig zugesetzte anionische Tenside³ (etwa 5-15%). Dazu zählen beispielsweise Alkylsulfate bzw. Alkansulfonate und Alkylbenzolsulfonate :



Ent härter bewirken den Entzug von Ca^{2+} - und Mg^{2+} - Ionen aus dem Waschwasser. Gerade bei hartem Wasser würde sonst eine Ausfällung von Calcium- oder Magnesiumcarbonaten stattfinden, die durch die Scheuerwirkung eine Schädigung des Textilgewebes verursachen. Häufig verwendete Enthärter sind z.B. Zeolithe (z.B. Natrium-Aluminiumsilicat), die in einem anorganischen Ionenaustauscherprozess anstelle des Natriums Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Ionen einlagern und dadurch dem Waschwasser entziehen können.

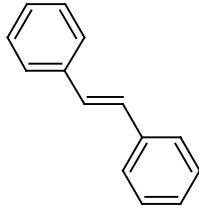
Bleichmittel (20-35%) bewirken eine oxidative Zerstörung der Verschmutzungen bzw. -färbungen. Natriumperborat ist im trockenen Zustand stabil, im wässrigen Milieu erfolgt jedoch die Freisetzung des starken Oxidationsmittels Wasserstoffperoxid.



Eine Bleichung mit Natriumperborat erfolgt jedoch erst bei Temperaturen über 60 °C. Durch Zugabe von Komplexbildnern, in diesem Fall als *Stabilisatoren* bezeichnet, wird die übermäßig schnelle Zersetzung des Wasserstoffperoxides durch vorhandene Schwermetallionen verhindert. Früher verwendete man die so genannte Rasenbleiche – dabei wurde verschmutzte Wäsche auf eine Rasenfläche gelegt. Der vom Gras freigesetzte Sauerstoff bewirkte eine (schwache) Bleiche der Wäsche.

Daneben finden sich in Waschmitteln zur Reduzierung allzu starker Schaumbildung *Schaumregulatoren* (3-8%), *Vergrauungsinhibitoren* (0,5-2%, verhindern das erneute Aufziehen gelöster Schmutzpartikel in/an die Textilfaser), *Korrosionsinhibitoren* (3-6%, verhindern die Korrosion von Aluminiumteilen der Waschmaschine) sowie *Stellmittel* (5-15%), die ein Verklumpen des Waschmittels verhindern. *Optische Aufheller* (0,1-0,3%, Weißtöner) absorbieren UV-Licht und strahlen blaues Fluoreszenzlicht aus. Durch additive Farbmischung kompensiert der blaue Farbton einen etwaigen Gelbstich der Textilfaser. Dadurch erscheint die Wäsche weißer. Als Beispiel kann *trans*-Stilben angeführt werden:

³ Vgl. erstelltes Protokoll „Verseifung von Butter“; Tensidwirkung, Waschwirkung



Natürlich werden dem Waschmittel auch *Duftstoffe* (0,1-0,2) zugefügt.

Mit einem Anteil von 0,5-0,8% werden dem Waschmittel Enzyme zugefügt. So lassen sich beispielsweise eingetrocknete Eiweißverschmutzungen mit Tensiden nur unzureichend entfernen. Spezielle Enzyme, die ausschließlich Eiweiße abbauen (so genannte Proteasen, meist aus *Bacillus subtilis*), bewirken hier eine effektive Entfernung der Verschmutzung.

Im Stoffwechsel spielen Enzyme als Biokatalysatoren eine essentielle Rolle. Der Aufbau gliedert sich meist in eine Proteinkomponente (Apoenzym) sowie eine bzw. mehrere Nicht-Proteinkomponente(n) (z.B. Coenzyme, Cofaktoren – z.B. Fe-, Mg-, Zn- und Ca-Ionen).

Enzyme fungieren als Katalysatoren und sind – im Gegensatz zu chemischen Katalysatoren – imstande, meist bei relativ niedrigen Temperaturen wirksam zu sein. Neben einem pH-Optimum ist daher die optimale Temperatur für eine günstige Enzymwirkung entscheidend und muss bei deren technischer Verwendung berücksichtigt werden. So sind die Proteasen bis etwa 60 °C stabil, darüber hinaus beginnen sie unwirksam zu werden.

In diesem Versuch wurde getestet, ob besonders ‚gefürchtete‘ Flecken mit einer Auswahl an speziellen Waschenzymen (unter optimalen Temperaturbedingungen) effektiv beseitigt werden können. Alle Waschmittelenzyme bewirken eine hydrolytische Spaltung größerer, mehr oder weniger wasserunlöslicher Moleküle in kleinere ‚Bruchstücke‘ und erhöhen somit letztlich die Löslichkeit der Flecken im Wasser.

Im Fachhandel sind die entsprechenden Enzyme separat erhältlich. Zur Anwendung kamen Proteasen für die Entfernung von Eiklar, Cellulase für die Entfernung von Grasflecken, eine Mischung aus Amylase, Protease und Lipase für die Entfernung von Kakaoflecken und Lipase zur Entfernung von Lippenstift. In allen Fällen konnte nach 1 ½ Stunden eine zufrieden stellende Reinigungswirkung festgestellt werden.

Obwohl Eiklar nur zu etwa 11% aus Proteinen besteht, konnte die bestehende, sichtbare Verunreinigung durch die Protease gezielt beseitigt werden. Es sollte jedoch erwähnt werden, dass eine Verunreinigung durch Eiklar farblich nicht besonders auffällt und somit eine Überprüfung der Reinigungswirkung erschwert wird.

Durch die Zersetzung amorpher Anteile der Cellulosefibrillen bewirkt die Cellulase eine Spaltung der in Pflanzen in großen Mengen vorkommenden Cellulose. Dadurch konnte die pflanzliche Verunreinigung zum großen Teil von der Textilfaser abgelöst werden. Reste der grünen (Chlorophyll-)Färbung blieben jedoch auf der Textilfaser zurück.

Im Kakao finden sich etwa 7,5% Stärke, 11,5% Eiweiß und über 50% Kakaobutter (Fett)⁴. Die im Versuch zugesetzte Amylase spaltet Polysaccharide (wie Stärke), die Protease die enthaltenen Eiweiße und die Lipase die enthaltenden Fette. Der zugesetzte Enzymcocktail konnte somit fast 70% der Inhaltsstoffe von Kakao abbauen. Die Verunreinigung war nach der Einwirkzeit fast vollständig entfernt.

Lippenstift besteht überwiegend aus Fetten (Wachsen, Ölen) und kann daher durch das fettspaltende Enzym Lipase zum größten Teil abgebaut werden. Demzufolge war die Verunreinigung nach der Einwirkzeit fast vollständig verschwunden.

In allen Fällen zeigte das verwendete Feinwaschmittel (ohne Enzyme) in vergleichbarer Anwendung schlechtere Ergebnisse. Überwiegend waren nach der Einwirkzeit die Flecken unerheblich geringer geworden. Dies lässt sich im Vergleich vorrangig auf die fehlende Eigenschaft der spezifischen Fleckenbehandlung mit einem Feinwaschmittel zurückführen.

Die Reinigungswirkung der verwendeten Enzyme lässt sich vermutlich durch eine höhere Temperatur der Waschlösung steigern – und damit die Einwirkzeit ggf. verringern. So liegt z.B. das Wirkungsoptimum der Protease bei 60 °C, der Versuch jedoch wurde nach der Versuchsvorschrift bei 40 °C durchgeführt.

Methodisch-didaktische Analyse

Im Lehrplan lässt sich der Versuch in der 12. Jahrgangsstufe im Grund- und Leistungskurs im Rahmen der Behandlung grenzflächenaktiver Substanzen durchführen. Hierunter fallen die Herstellung, Struktur und Eigenschaften von Waschmitteln bzw. Seifen und synthetischen Tensiden. Bei der Erläuterung der Waschwirkung einschließlich der Berücksichtigung weiterer Waschmittelinhaltsstoffe (wie Enzyme und Bleichmittel) würde der Versuch eine passende

⁴ Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Kakao#Chemische_Umsetzungen_bei_der_Kakaofermentation; Zugriff am 4.1.09

praktische Bereicherung darstellen und sollte somit m.E. in dieser (oder ähnlicher) Form in keinem Chemieunterricht fehlen.

Grundsätzlich dürfte den Schülern dieses Thema sehr interessant erscheinen, da sich vermutlich viele Schüler in diesem Lebensalter für Aspekte des Umweltschutzes interessieren. Da z.B. im Zusammenhang mit dem Thema Waschmittel auch die hierdurch verursachte Wasserverschmutzung relevant erscheint, bietet sich eine entsprechende Behandlung im Unterricht an.

Der Versuch erfordert eine Vorbereitungszeit von etwa 15 Minuten, eine Durchführung von etwa 3 Stunden und eine Nachbereitungszeit von etwa 10 Minuten – wobei durch die Wartezeiten die Dauer erheblich verlängert wurde. Hier wurden jedoch beide Waschansätze nacheinander durchgeführt, bei paralleler Durchführung kann die Dauer demzufolge auf die Hälfte verringert werden. Somit ist für den Versuch mindestens eine Doppelstunde einzuplanen. Alternativ könnte jedoch auch eine Einzelstunde mit erweiterten Wartezeiten auf 1-2 Tage (bis zur folgenden Einzelstunde) eingeplant werden.

Da für den Versuch jedoch (bis auf die wenigen) spezifischen Waschsubstanzen keine besonderen, gefährlichen Chemikalien und Geräte benötigt werden, kann dieser Versuch prinzipiell auch von den Schülern zuhause selbst durchgeführt werden. Durch eine Variation der Waschsubstanzen, Verunreinigungen sowie verunreinigten Stoffe (o.Ä.) kann der Versuch natürlich den Umständen angepasst werden. In allen Fällen konnte eine gute Reinigungsleistung beobachtet werden. Die Einwirkzeit der Waschmittelenzyme musste jedoch auf etwa 1 ½ Stunden verlängert werden. Nach 20 Minuten, wie in der Versuchsvorschrift angegeben, war noch keine zufrieden stellende Reinigungswirkung festzustellen. Ggf. ist bei der Durchführung eine höhere Temperatur der Waschlösung zum Erreichen des Wirkungsoptimums der Enzyme auszutesten.

Literatur

Peter K, Vollhardt C, Schore NE: Organische Chemie, 4. Auflage, 1. korrigierter Nachdruck 2007, Wiley-VCH, Weinheim

Wollrab A: Organische Chemie; 2. Auflage 2002, Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York

Idee aus:

Rubner K, Pfeifer P: „Voll- oder Feinwaschmittel? – Anregungen für Schülerhausversuche mit Waschmittelenzymen“ – in: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, Nr. 92, 2006, S. 19 ff.

Weitere Quellen:

http://www.friedrichonline.de/pdf_preview/d53238_1921.pdf; Zugriff am 4.1.09

Hessisches Gefahrstoffinformationssystem Schule; <http://www.hessgiss.de/>; Version 2006/07

Soester Liste; <http://h105.ath.cx/fwe.de/gefahrstoffdaten.de/index.html>, Zugriff am 2.1.09

Hessischer Lehrplan Chemie G8; unter <http://www.kultusministerium.hessen.de/>; Zugriff am 3.1.09