

Weg mit dem Fleck.

Inhaltsstoffe synthetischer Waschmittel
unter besonderer Berücksichtigung von
Bleichmittel

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
einer Magistra der Naturwissenschaften

an der Karl-Franzens-Universität Graz

vorgelegt von
Katrín MAIRHOFER

am Institut für Chemie
Begutachterin: Mag. Dr.rer.nat. Claudia Reidlinger

Graz, 2019

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich, Katrin Mairhofer, erkläre hiermit, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben. Alle Stellen, Abbildungen oder Tabellen, die wörtlich oder inhaltlich den angegebenen Quellen entnommen wurden, sind als solche gekennzeichnet. Die abgebildeten chemischen Strukturen wurden selbstständig mit dem Programm ChemSketch gezeichnet.

Graz, am
(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
Kurzfassung	7
Abstract	7
Einleitung	8
1. Historische Entwicklung	9
1.1 Waschmittelentwicklung	11
2. Einführung – Waschmittel	12
2.1 Vollwaschmittel	12
2.2 Colorwaschmittel	13
2.3 Niedrigtemperatur – Waschmittel.....	14
2.4 Tabs – portionierte Waschmittel	14
3. Waschen weltweit	15
3.1 USA	15
3.2 Japan	15
3.3 Europa.....	16
4. Inhaltsstoffe von Waschmittel	18
4.1 Tenside.....	19
4.1.1 Funktion.....	20
4.1.2 Tensidklassen.....	22
4.1.3 Tenside in Waschmittel	27
4.2 Gerüstsubstanzen.....	27
4.2.1 Funktion.....	27
4.2.2 Einteilung der Gerüstsubstanzen.....	28
4.3 Enzyme	31
4.3.1 Proteasen.....	31
4.3.2 Weitere Enzyme	32
4.3.3 Enzyme im Waschmittel.....	32
4.4 Polymere	33
4.4.1 Vergrauungsinhibitoren	33
4.4.2 Farbschutzpolymere	35
4.4.3 Folien.....	36
4.5 Optische Aufheller	36

4.6	Stabilisatoren.....	37
4.7	Schaumregulatoren.....	38
4.8	Sonstige Inhaltsstoffe	38
4.8.1	Korrosionsinhibitoren.....	38
4.8.2	Duftstoffe	39
4.8.3	Farbstoffe	39
4.8.4	Füllstoffe	39
5.	Bleichen – Bleichmittel	40
5.1	Sauerstoffbleiche	40
5.1.1	Natriumperborat	40
5.1.2	Natriumpercarbonat.....	41
5.1.3	Wasserstoffperoxid.....	42
5.1.4	Mechanismus der Peroxidbleiche	42
5.1.5	Einschränkungen der Peroxidbleiche	43
5.1.6	Bleichaktivatoren	45
5.1.7	Bleichkatalysatoren	47
5.1.8	Einflüsse auf das Bleichergebnis	48
5.2	Chlorbleiche	49
5.2.1	Mechanismus der Chlorbleiche.....	49
5.2.2	Nachteile der Chlorbleiche	50
5.3	Reduktive Bleiche	50
5.4	Zusätzliche Vorteile im Bleichprozess	51
6.	Farbige Flecken	52
6.1	Farbigkeit	52
6.2	Farbmittel.....	54
6.3	Farbgebende Strukturen.....	54
6.3.1	Carotinoide.....	54
6.3.2	Metallporphyrin	55
6.3.3	Chinone.....	56
6.3.4	Flavonoide	57
6.3.5	Betalaine	58
7.	Behandlung von farbigen Flecken	59
7.1	Hausmittel und Vorbehandlungsprodukte	59
7.1.1	Gallseife.....	59

7.1.2	Essig	60
7.1.3	Citronensäure	62
7.1.4	Backpulver	63
7.1.5	Seifenkraut	63
7.1.6	Spiritus.....	64
7.1.7	Rasenbleiche	65
8.	Praktische Fleckenvorbehandlung	66
8.1	Vorbereitung	66
8.2	Durchführung	67
8.2.1	Gallseife	67
8.2.2	Seifenkraut	69
8.2.3	Citronensäure	70
8.2.4	Essig	71
8.2.5	Intensiv-Entfärber.....	72
8.2.6	Gebissreiniger	73
8.2.7	Backpulver	74
8.2.8	Vanish Oxi Action.....	76
8.2.9	Spiritus.....	77
8.2.10	Rasenbleiche	78
8.3	Diskussion und Ergebnisse	79
8.4	Schulbezug	82
9.	Schulunterlagen	84
9.1	Schülerblatt: Nachweis von Bleichmittel in Waschmitteln	84
9.2	Lehrerblatt: Nachweis von Bleichmittel in Waschmitteln	86
9.3	Schülerblatt: Entfärben von Kaliumpermanganat mit Wasserstoffperoxid.....	90
9.4	Lehrerblatt: Entfärben von Kaliumpermanganat mit Wasserstoffperoxid	92
9.5	Didaktischer Hintergrund	94
9.5.1	Didaktische Grundsätze (7. und 8. Klasse):.....	94
9.5.2	Lehrstoff:	94
10.	Fazit	96
	Literaturverzeichnis	98
	Abbildungsverzeichnis	102
	Tabellenverzeichnis	104

Vorwort

“Dirndl, leg deine weiße Bluse einfach in die Sonne und der Kernölfleck ist weg!“

Margit Sorger

Diese simple Weisheit stammt von meiner Großmutter und scheint in ihrer Form auf den ersten Blick zwar viel lebensnahe Praxis, jedoch wenig wissenschaftliche Basis mit sich zu führen. Diese Methode könnte jedoch als mögliche Alternative angesehen werden, um auf den Kauf von teuren Fleckenentfernern aus dem Supermarkt zu verzichten. Jene unkonventionelle Alternative weckte mein Interesse, welches sich rund um Haushaltsmittel zum Zweck der Fleckenentfernung dreht. Somit war das Thema meiner Diplomarbeit geschaffen, in der folglich speziell auf in Waschmitteln unterschiedlicher Länder zurückgegriffene Bleichmittel eingegangen werden soll. Die Diplomarbeit widme ich damit all jenen, die sich gewiss schon mal in der misslichen Lage befanden, nicht zu wissen, wie der hartnäckige Fleck am besten vom Lieblingskleidungsstück eliminiert werden kann.

An dieser Stelle möchte ich mich aufrichtig und herzlich bei meiner Betreuerin Frau Mag. Dr.rer.nat. Reidlinger bedanken, die mir während des Verfassens der Diplomarbeit jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Auch meinen Eltern möchte ich einen besonderen Dank aussprechen, dass sie mich in meinem ganzen bisherigen Leben unterstützt haben, denn ohne ihre Hilfe wären viele wertvolle Erfahrungen und das Erreichung meiner Ziele in meinem Leben nicht möglich gewesen. Speziell bei meiner Mutter möchte ich mich bedanken, für ihr Verständnis, ihre Geduld und ihren Rückhalt.

Großen Dank gilt natürlich meiner ganzen Familie und meinen Freunden, die mich über all die Jahre begleitet, unterstützt und für den notwendigen Spaß gesorgt haben.

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich hauptsächlich mit Waschmitteln, insbesondere mit Bleichmitteln, die dafür verantwortlich sind, dass man farbige Flecken aus Textilien entfernen kann. Neben den altbewährten Hausmitteln und Waschmitteln wird auch auf neuere Forschungserkenntnisse Bezug genommen. Prinzipiell gibt diese Arbeit einerseits einen Einblick in die Inhaltsstoffe der Waschmittel, deren unterschiedlichen Typen und andererseits beschäftigt sie sich auch mit farbigen Substanzen und dem Grund ihrer Farbigkeit. Einen Schwerpunkt bilden vor allem die eingesetzten Bleichmittel, die weltweit gesehen entweder auf Sauerstoffbasis oder Chlorbasis vorkommen können. Mittels einer Versuchsreihe mit unterschiedlichen Vorbehandlungsmethoden, um farbige Flecken zu entfernen, werden mögliche Alternativen zu den Bleichmitteln aufgezeigt. Des Weiteren werden Modellversuche herangezogen, die auf den neuen Lehrplan und deren didaktischen Prinzipien abgestimmt sind.

Abstract

This diploma thesis mainly deals with detergents, especially with bleachers, which are responsible for removing colored stains from textiles. In addition to the common home remedies and detergents, reference is also made to recent research outcomes. In general, this paper gives an insight into the ingredients of detergents, their different types and, on the other side, on colored substances and the reason of their chromaticity. The main focus is on bleaching agents, which exist in most cases either oxygen-based or chlorine-based from a global perspective. Due to a series of experiments, which show different pre-treatment methods to remove colored stains, it is possible to present alternatives to the common bleaching agents. Furthermore, model experiments are illustrated that are aligned with the new syllabus and correlated didactic principles.

Einleitung

Kernöl gehört in den Salat und nicht auf das T-Shirt, Rotwein ins Glas und nicht auf das Tischtuch, Filzstiftstriche aufs Papier und nicht auf die Hose und die Erde in den Blumentopf und nicht auf den Teppich. Daher - jeder kennt ihn, jeder macht ihn und jeder will ihn sofort loswerden – Schmutz. Er zeigt sich leider mit vielen unerwünschten Gesichtern und macht einem oft das Leben schwer. Vor allem Schmutz, der trotz der modernen Waschmittel sehr hartnäckig zu entfernen ist. Interessant wird es bei farbigen Flecken, wie Kaffee, Rotwein, Gras, Obst, Kernöl etc., die man mit Tensiden und Enzymen nicht mehr so leicht los wird. Die Lösung für solche Verschmutzungen stellen die Bleichmittel dar, die dann gezielt zum Einsatz kommen. Allerdings, wie sich im Laufe der Arbeit herausstellen wird, sind die farbigen Flecken auf der ganzen Welt gleich, jedoch die verwendeten Bleichmittel sind unterschiedlich. So behandelt man Verschmutzungen in Amerika, Japan und Teilen Südeuropas anders als in Europa. Dies zieht natürlich Vor- bzw. auch Nachteile mit sich, die in den nächsten Jahren sicherlich ein Thema für uns werden. Aber auch innerhalb von Europa hat sich, was die Inhaltsstoffe in Waschmitteln betrifft, in den letzten Jahren viel verändert. So wurde das alt bewährte Bleichmittel Natriumperborat schließlich von Natriumpercarbonat überwiegend ersetzt. Aufgrund der ständigen Weiterentwicklungen und Forschungen diesbezüglich, wird es jedoch nicht mehr lange dauern und es wird wieder eine neue Alternative geben. Daher wird diese Arbeit auch eine Auskunft über die aktuellen Perspektiven und Entwicklungen in diesem Bereich geben, da das Problem Umweltverschmutzung und die Auswirkungen auf den Menschen im Zusammenhang mit Waschmitteln immer eine große Rolle spielt. Es stellt sich die Frage, ob man auch auf Bleichmittel verzichten kann und diese farbigen Flecken mit üblichen Hausmitteln erfolgreich entfernen kann. Denn die altbekannte Rasenbleiche ist seit jeher im Einsatz und wird heutzutage noch immer sehr häufig verwendet, wenn man einen farbigen Schmutz nicht komplett mit Waschmittel entfernen kann. Diese gängige Methode wird schon von Generation zu Generation als die effektivste angesehen und jede Mutter hat sicher schon mal gesagt: „Leg die Kleidung einfach in die Sonne und der Fleck ist weg!“. Aber auch wenn man die Internetforen durchgeht, werden einem die ausgefallensten Mittel zum Entfernen von Farbflecken präsentiert: Backpulver, Gallseife, Citronensäure und Co bis zu Essig und Milch. Es gibt also eine Vielzahl von alternativen Behandlungsmethoden, wobei sich die Frage stellt, ob diese auch wirklich wirksam sind und schlussendlich den Fleck entfernen können. Ziel der Arbeit ist es dem auf den Grund zu gehen, den Waschprozess der hinter den Bleichmitteln steckt sowohl theoretisch als auch praktisch zu verstehen und gleichzeitig das

Thema für die Schule aufzubereiten. Denn Waschmittel sind täglich im Gebrauch, oft denkt man gar nicht viel darüber nach, Hauptsache es funktioniert. Beschäftigt man sich allerdings mehr damit, begreift man erst wie viel Chemie dahintersteckt und was Kleinigkeiten in der Zusammensetzung der Waschmittel bewirken können.

1. Historische Entwicklung

Schon vor Jahrtausenden hatte man das Bedürfnis nach Hygiene und sie ist daher keine Erfindung der Neuzeit. Die Menschen haben sich schon seit jeher mit der Entfernung von Schmutz beschäftigt, denn man hatte zu jeder Zeit regelmäßig Hände, Körper und Kleidung in Flüssen, Seen oder Tümpeln mit dem Wasser gereinigt. Die Kleidung musste dazu vorerst mechanisch durch Abscheuern, Abschaben, Stampfen oder Winden bearbeitet werden und dies war natürlich eine mühsame, zeitaufwendige und schweißtreibende Aufgabe der Frauen. Im 6. Gesang der Odyssee schreibt Homer:

„Nausikaa, des Königs Alkinoos' Tochter, von Athene im Traum ermahnt, fährt ihre Gewande zu waschen an den Strom, und spielt darauf mit den Mägden. Odysseus, den das Geräusch weckte, naht flehend, erhält Pflege und Kleidung, und folgt der Beschützerin bis zum Pappelhain der Athene vor der Stadt.“ [1].

Dabei handelt es sich um ein klassisches Beispiel für die Entfernung von Schmutz mittels Muskelkraft und der bleichenden Wirkung der Sonne, von Waschmittel hingegen war damals noch nicht die Rede. Das erste „Waschmittel“ in diesem Sinn gab es in Rom. Die Aufgabe der so genannten Fullonen war es die Wäsche mit abgestandenem Urin zu reinigen. Dazu sammelten sie in großen Gefäßen an den Straßenecken von Rom Urinbeiträge von Passanten. Der Urin musste anschließend einige Tage stehen gelassen werden, denn erst wenn ausreichend Ammoniak gebildet wurde, konnte der Urin zum Waschen verwendet werden. Der Prozess beruht auf der alkalischen Reaktion des Ammoniaks zu einer Waschlauge, die schließlich zur Reinigung von Kleidung verwendet wurde. Allerdings ist Ammoniak auch für den unerträglichen Geruch des alten Urins verantwortlich, dennoch erkannte Kaiser Vespasian diese neue Einnahmequelle und belegte sie sofort mit Steuern. Er gilt auch als Schöpfer für den Spruch: Pecunia non olet (Geld stinkt nicht).

Um 2500 v. Chr. haben die Sumerer erste seifen-ähnliche Produkte hergestellt und gelten somit als ältestes Kulturvolk, die über Keilschrift erste detaillierte Rezepte zur Herstellung von Seife festhielten. Sie verstanden schon früh die Kunst mit Hilfe von Holzasche und Öl erste

seifenartige Substanzen zu erzeugen und schafften so die erste Überlieferung einer chemischen Reaktion. Ägypter und Griechen übernahmen die Rezepte und nutzten ebenfalls die Herstellung von verseiften Ölen und Fetten. Die Anwendung der Seife diente jedoch primär als Heilmittel bei Hautkrankheiten, die damals aufgrund der schlechten Hygiene nicht allzu selten waren. Die Aufklärung der reinigenden Wirkung der Seife machte dann erstmals der griechisch-römische Arzt Claudius Galenos 131-201 n. Chr. Danach gibt es kaum weitere Belege über die Seifenentwicklung. Erst die Germanen und Gallier entdeckten die Seife als Kosmetikum und verwendeten die aus Ziegen-, Rinder- oder Hirschtalg hergestellte Seife als Bleichmittel für Haare oder als Haarpomade. Obwohl die Römer zeitgleich eine Badekultur pflegten, setzten sie die Seife erst ab dem 2. Jahrhundert n. Chr. zur Körperreinigung ein und haben so die Bräuche der Germanen und Gallier übernommen. Die Seife war allerdings relativ unrein und ist nicht vergleichbar mit den heutigen Seifen. Besonders einfallsreich zeigten sich dann die Araber im frühen Mittelalter im 7. Jahrhundert, die die Kunst des Seifensiedens schon sehr früh beherrschten. Sie entwickelten eine schwach gelblich gefärbte, leicht transparente Seife mit einer gallertartigen Konsistenz, die nur einen sehr geringen Wassergehalt aufwies. Dazu setzten sie als einer der Ersten gebrannten Kalk ein und erhitzen die Bestandteile der Seife so, dass man feste Seifen erhielt. Die Araber verbreiteten dann durch die Eroberungen in Spanien das Seifensieden nach ganz Europa, sodass vor allem in Spanien, Italien, an der französischen Mittelmeerküste aber auch in Prag, Augsburg und Wien bedeutende Seifensiedezentren entstanden. Jedoch war die Seife zu diesem Zeitpunkt ein Luxusartikel und war nicht für jeden zugänglich. Im 14. Jahrhundert wurden dann überwiegend im mitteleuropäischen Raum hochwertige Seifen mit streng geheimen Rezepturen hergestellt. Bei Ausbruch der Pest und Syphilis nahm die Badekultur allerdings vorerst ein Ende, da die Menschen glaubten, dass das Eindringen von Wasser in die Haut diese Krankheiten hervorrufen. Im Jahr 1668 wurde die Körperreinigung mit Seife wiederentdeckt, indem Ludwig XIV, der sogenannte Sonnenkönig, schließlich das erste Reinheitsgebot für Seife festlegte, das bis heute andauert. Mit Beginn des 18. Jahrhunderts wurde die Bedeutung der Hygiene immer größer und der Zugang zur Seife war nicht mehr nur für Adelige leistbar. Vor allem durch den Leblanc-Prozess (1789) und das Solvay-Verfahren (1861) war eine großtechnische Verseifung durch Soda und Fette schließlich möglich. Es war der Beginn der industriellen Seifenproduktion [2, S.177-180; 3, S.4-7; 4].

1.1 Waschmittelentwicklung

Das Jahr 1878 kann als der Beginn der modernen Waschmittel angesehen werden, denn es wurde damals „Henkel’s Bleichsoda“ entwickelt. Dies war ein Gemisch aus Soda und Natriumsilicat im Verhältnis 4:1, das zum Wäscheeinweichen bzw. Wasserenthärten benutzt wurde. Zusätzlich wurden auch Eisensalze ausgefällt, sodass damit ein Vergilben der Wäsche verhindert werden konnte, daher war es auch unter dem Namen „Bleichsoda“ bekannt. Das erste Vollwaschmittel „Persil“ von Henkel kam 1907 auf den Markt, es hatte seinen Namen von „Per“ wie Perborat und „sil“ wie Silicat erhalten. Die Inhaltsstoffe waren neben pulverisierter Seife auch Soda, Silicat und enthielten mit Perborat erstmals auch ein Bleichmittel. Diese Entwicklung war der Durchbruch und ersetzte die langwierige und wetterabhängige Rasenbleiche, die für die überwiegende weiße Wäsche notwendig war. Dazu wurden die weißen Textilien bei sonnigem Wetter auf einem Rasen platziert, damit die farbigen Flecken schließlich verblichen. Damals war dies die Aufgabe von sogenannten Bleichern, die jedoch ihren Beruf nach der Einführung der chemischen Bleichmittel bald einmal verloren.

Als nächster großer Schritt gilt die Entwicklung von Feinwaschmitteln (Fewa) im Jahr 1932 mit den waschwirksamen Tensiden, den Fettalkoholsulfaten, die die Seife allmählich ersetzten. Dieses eignete sich hervorragend für empfindliche Textilien, wie z.B. Seide oder Wolle. Allerdings wurde auf Seife nie komplett in der Waschmittelrezeptur verzichtet, erst nach dem zweiten Weltkrieg mit der Erfindung der ersten elektrischen Waschmaschinen wurde die Seife fast vollständig von Tensiden ersetzt. Doch es dauerte nicht allzu lange bis man auf die ersten unerwünschten ökologischen Folgen aufgrund des Einsatzes von Tensiden stieß. Schuld für die enormen Schaumberge in den Gewässern waren die Tetrapropylenbenzolsulfonate (TPS) die dann aufgrund der schlechten Abbaubarkeit von den linearen Alkylbenzolsulfonaten (LAS) ersetzt wurden (Tabelle 2).

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts kamen schließlich immer mehr Bestandteile zum herkömmlichen Waschmittel hinzu. Duftstoffe, optische Aufheller etc. aber auch eigene Wasserenthärter wurden zu unverzichtbaren Inhaltsstoffen. Anfänglich wurde Pentanatriumtriphosphat (Abbildung 5) als Komplexbildner verwendet, doch auch hier kam es zu unerwünschten Folgeschäden, was dann schlussendlich zum phosphatfreien Ersatzmittel Zeolith A (Abbildung 6) führte. Die Enzyme wurden erst Ende der Achtzigerjahre effektiv eingesetzt und werden bis heute noch regelmäßig optimiert, sodass immer mehr neue Enzymtypen Teil der Waschmittelrezeptur werden.

Im Jahr 1977 wurde mit der Einführung der Bleichaktivatoren die Leistung der Bleichmittel vor allem bei niedrigen Temperaturen entscheidend verbessert. Als wichtigster

Bleichmittelaktivator gilt bis heute das Tetraacetylenhydramid (TAED) (Abbildung 19), das bedeutend zur Waschmittelentwicklung beitrug. Da der ökologische Hintergrund heutzutage immer wichtiger erscheint, wird sehr viel Wert darauf gelegt, Dosierungen zu reduzieren und gleichzeitig das Waschmittel leistungsfähiger zu machen [2, S.177-183; 3, S.4-6].

2. Einführung – Waschmittel

Unter Waschmittel (engl.: detergents) versteht man waschaktive Substanzen gelöst in Wasser, die zur Reinigung von Textilien dienen. Heutzutage stellt der Verbraucher hohe Ansprüche an das Waschmittel und deren Waschwirkung, jedoch schenken sie beim Kauf und bei der Benutzung dem Produkt wenig Aufmerksamkeit. Es wird sozusagen schon als selbstverständlich gesehen, dass die Wäsche rundum sauber ist und nebenbei auch noch gut riecht. Einerseits soll das Waschmittel preiswert und günstig sein und andererseits umweltverträglich, schonend gegenüber den Textilien, allergiefrei, hautverträglich und noch vieles mehr. Daher ist eine ständige Weiterentwicklung des Waschmittels unabdingbar. Nicht ohne Grund gibt es heutzutage schon für jeden Schmutz das perfekte Waschmittel im Supermarktregal.

Aber im Gegensatz zu damals wird einem das Wäsche waschen richtig leichtgemacht, denn seit der Erfindung der Waschmaschine hat sich in der Zusammensetzung des Waschmittels einiges getan. Es gibt daher eine Reihe an unterschiedlichen Inhaltsstoffen und neuen Trends die auf die Kleidung und die Waschmaschine abgestimmt sind. Ziel ist es natürlich bei jedem Waschgang möglichst viel Energie einzusparen, deshalb versucht man seit neuestem bei sehr niedrigen Temperaturen bis zu 20°C zu waschen. Dies zieht natürlich eine Weiterentwicklung der Inhaltsstoffe, besonders von Enzymen und Bleichmittel mit sich.

Die Waschmittel verfolgen alle denselben Zweck, sind jedoch sowohl regional als auch international durch die Unterschiede der Waschgewohnheiten und des Waschmittelangebotes bezüglich der Zeitachse unterschiedlich zusammengestellt. Dennoch gilt generell die Unterteilung in vier große Produktgruppen: Vollwaschmittel, Colorwaschmittel, Feinwaschmittel und Spezialwaschmittel, die je nach Funktion ausgewählt werden [2, S.89-90].

2.1 Vollwaschmittel

Prinzipiell spricht man bei Vollwaschmittel auch von Universalwaschmittel, da diese für die meisten Textilien geeignet sind. Sie können bei einer großen Bandbreite an Temperaturen angewendet werden und enthalten für den Waschprozess alle notwendigen Komponenten.

Allgemein lässt es sich in pulverförmige, flüssige und portionierte Formen einteilen. Dabei wird dem pulverförmigen Produkt wirtschaftlich gesehen die bedeutendste Rolle zugeschrieben und es handelt sich nebenbei auch noch um den ältesten Waschmitteltyp (Persil 1907). Alle festen Waschmittel, also Pulver, Perlen, Granulate und Tabs beinhalten Bleichmittel und optische Aufheller. Daher eignet sich das Vollwaschmittel nicht so gut für empfindliche Textilien, da die Bleichmittel und Enzyme eine sehr hohe Alkalität mit sich ziehen. Jedoch für stark verschmutzte und weiße Wäsche kann es problemlos eingesetzt werden. Das herkömmliche pulverförmige Vollwaschmittel wird nun seit 2002 als Kompaktwaschmittel bezeichnet, da sich die Dosierung pro Waschgang in den letzten Jahren von 150 g zu einer Obergrenze von 75 g pro Waschgang eingependelt hat. Im Supermarkt erhält man das pulverförmige Vollwaschmittel nur mehr als Kompaktwaschmittel (Normalware) oder als Superkompaktwaschmittel (Superkonzentrate). Die flüssigen Vollwaschmittel sind hingegen vor allem in Amerika schon relativ lang aufgrund deren üblichen Waschverfahren und Waschmaschinen vertreten, in Europa hingegen kamen diese erst 1981 erstmals auf den Markt. Sie gelten als nicht so leistungsfähig wie die pulverartigen Produkte, da sie sich in der Zusammensetzung unterscheiden. Allgemein herrschen andere Mengenverhältnisse vor, sodass anionische und nichtionische Tenside in höheren Anteilen vorhanden sind. Je nach Rezeptur werden auch Alkohole als Lösungsmittel, Enzyme, Stabilisatoren und optische Aufheller verwendet. Gerüststoffe sind allerdings nur in sehr geringen Mengen zu finden und Bleichmittel sind aufgrund der Instabilität überhaupt nicht enthalten. Daher wird in Amerika das Bleichmittel getrennt dosiert. Fazit ist, dass flüssige Produkte sich perfekt für fetthaltige Verschmutzungen und synthetische Fasern die schonend bei Waschtemperaturen unter 60°C gewaschen werden, eignen [2, S.92-95; 3, S.75-76].

2.2 Colorwaschmittel

Im Jahr 1992 wurden Colorwaschmittel entwickelt, um die überwiegende farbige Kleidung besonders im Freizeitbereich zu waschen. Damit die leuchtenden Farben nicht verblassen, sind diese Waschmittel frei von Bleichmitteln und optischen Aufhellern, da diese die Farbe verändern können. Des Weiteren sind auch Farbübertragungsinhibitoren enthalten, die einer Farbveränderung der unterschiedlichen Textilien entgegenwirken. Oft beinhalten die Colorwaschmittel zusätzlich auch Cellulase für die Erhaltung der Farbe. Ebenfalls ist diese Produktgruppe in pulverartiger, flüssiger und gelartiger Form am Markt zu erwerben und ähnelt bis auf ein paar Inhaltsstoffe sehr dem herkömmlichen Vollwaschmittel [2, S.95-97].

2.3 Niedrigtemperatur – Waschmittel

Zu den Niedrigtemperatur-Waschmitteln im Bereich von 30°C-40°C, zählen Feinwaschmittel bzw. Buntwaschmittel und Spezialwaschmittel. Die Feinwaschmittel weisen eine deutlich geringere Alkalität auf, um die Textilien weitestgehend schonend zu behandeln. Außerdem bilden sie einen feinporigen Schaum, der empfindliches Gewebe vor mechanischer Belastung schützt. Die Reinigungsleistung ist jedoch im Gegensatz zu den Colorwaschmitteln geringer. Spezialwaschmittel sind nun speziell auf bestimmte Probleme und Textilien abgestimmt, daher gibt es auch eine große Anzahl an unterschiedlichen Rezepturen. So gibt es z.B. Wollwaschmittel, die keine Proteasen besitzen und immer pH-neutral eingestellt sind, da sonst eine Verfilzung der Wolle eintritt. Gardinenwaschmittel finden ihren Einsatz überwiegend für weiße Gardinen aus Mischgewebe oder Synthetik. Sie besitzen eine hohe Alkalität und ein hohes Schaumverhalten, damit die Gardinen möglichst schonend gewaschen werden können. Zusätzlich enthalten sie Vergrauungsinhibitoren, Bleichmittel und optische Aufheller. Weiters gibt es auch noch Handwaschmittel, die überwiegend für Reisen verwendet werden, jedoch für Waschmaschinen aufgrund der starken Schaumentwicklung ungeeignet sind. Sie erhalten ihre enorme Waschkraft durch einen hohen Anteil an Tensiden und Enzymen [2, S.98-99; 3, S.78-79].

2.4 Tabs – portionierte Waschmittel

Als sehr praktisch erweisen sich die Tabs bzw. Flüssig-Tabs die schon im Vorhinein genauestens portioniert sind. Tabs in Tablettenform bestehen aus einem Zerfallsmittel, das sich bei Wasserkontakt löst und je nachdem direkt in die Waschtrommel oder in die Dosierkammer gegeben werden. Flüssig-Tabs sind ähnlich aufgebaut, sie haben eine Polyvinylalkohol-Schicht, die sich bei Kontakt mit Wasser sofort auflöst, sie werden allerdings direkt in die Waschtrommel gegeben. Der Vorteil dieser Art von portionierten Waschmitteln ist, dass man Inhaltsstoffe in diesen Tabs trennen kann, sodass die aggressiven Bleichmittel von den Enzymen getrennt sind. Hingegen erweisen sich die vorgegebenen Portionen auch als unpraktisch, da man in der Flexibilität eingeschränkt ist [2, S.97].

3. Waschen weltweit

Die Wasch- und Reinigungsindustrie wird hauptsächlich von den internationalen Konzernen Procter & Gamble (Ariel, Febreze, Meister Proper u.a.), Unilever (Coral, Domestos, Viss) und Henkel (Persil, Pril, Weißer Riese, Somat u.a.) dominiert. Dabei ist der US-Konzern Procter & Gamble weltweit gesehen mit einem Umsatz von 20 Milliarden US-Dollar in dieser Branche marktführend, gefolgt vom britisch-niederländischen Unilever-Konzern und Henkel [5]. Diese drei „Global Player“ besitzen einen Marktanteil von über 50%, den Rest decken ca. zehn internationale Unternehmen aus Westeuropa, den USA und Japan ab. International gesehen wurden im Jahr 2014 über 26 Millionen Tonnen an Waschmittel verwendet. Der Umsatz dabei betrug rund 62 Milliarden USD. Bemerkenswert ist, dass nur 30% der 7,3 Milliarden Menschen die Möglichkeit besitzen eine Waschmaschine zu verwenden, das bedeutet, dass mehr als die Hälfte der Bevölkerung noch immer mit Hand und Seife wäscht.

Die Waschgewohnheiten sind weltweit gesehen sehr unterschiedlich, daher sind die Waschmittelrezepturen auch von Land zu Land anders aufgebaut [2, S.207-208].

3.1 USA

In den USA wird sehr häufig die Waschmaschine verwendet, die anfallende Wäsche ist pro Kopf fast doppelt so hoch wie in Europa, da die meiste Wäsche nach einmal Tragen sofort im Wäschekorb landet. Als Waschmaschine wird in erster Linie eine Bottichwaschmaschine (Abbildung 2) benutzt, die große Mengen an Wasser verbraucht. Allerdings ist die Trommelwaschmaschine, die in Europa sehr vertreten ist, sehr im Kommen. Zusätzlich wird bei sehr niedrigen Temperaturen gewaschen, sodass hauptsächlich Natriumhypochlorit als Bleichmittel genutzt wird und auch für die notwendige Hygiene sorgt [2, S.208-209].

3.2 Japan

Auch in Japan wird überwiegend mit kalten Temperaturen gewaschen, weil die Waschmaschinen keinen Anschluss an Warmwasser und auch kein eingebautes Heizsystem besitzen. Außerdem sind die Waschmaschinen deutlich kleiner verglichen mit dem Rest der Welt aufgrund der engen Wohnverhältnisse.

Auch die Mechanik und die Leistung der Waschmaschine sind sehr gering, deshalb muss man die Wäsche oft vorbehandeln. Sie verwenden in Japan ebenfalls Natriumhypochlorit als Bleichmittel, doch mittlerweile werden auch Bleichmittel auf Sauerstoffbasis eingesetzt um die Flecken erfolgreich zu entfernen [2, S.21-22, 119, 209].

3.3 Europa

In Europa beträgt der Waschmittelverbrauch ca. vier Millionen Tonnen pro Jahr, der Markt für Wasch- und Waschhilfsmittel hatte im Jahr 2017 einen Wert von 13,5 Milliarden € [6]. Durch die europäische Gesetzgebung haben sich das Waschmittelangebot sowie deren Entwicklung in den unterschiedlichen Ländern in Europa angepasst. Allerdings gibt es Unterschiede zwischen den einzelnen europäischen Ländern bezüglich der Nutzung der Angebotsformen. In Schweden, Polen und Rumänien wird das pulverförmige Waschmittel bevorzugt eingesetzt. Hingegen in Ländern wie Spanien, Frankreich, Ungarn und Italien werden überwiegend flüssige Waschmittel verwendet. Ziemlich ausgeglichen zwischen der Verwendung von flüssigen und pulverförmigen Waschmitteln sind Länder wie Großbritannien, Deutschland, Tschechien und Finnland. Tabs und Flüssigtabs sind besonders beliebt in Tschechien, Polen, Rumänien, Frankreich und Großbritannien.

In Europa liegt die durchschnittliche Waschttemperatur bei 42°C, doch die Wahl der Temperatur ist wiederum in allen Ländern unterschiedlich. So wird in Spanien durchschnittlich bei 35°C oder niedriger gewaschen und in den skandinavischen Ländern bei einer durchschnittlichen Temperatur von 45°C. Durch die niedrigen Waschttemperaturen in den südlichen Ländern wie Portugal und Spanien kommt es dort noch immer zum Einsatz von Natriumhypochlorit als Bleichmittel. Generell ist die westeuropäische Waschmittelentwicklung schon sehr fortgeschritten und gehört zu den führenden weltweit. Ausschlaggebend waren vor allem das gestiegene Umweltbewusstsein, gesetzliche Auflagen sowie freiwillige Vereinbarungen in den Mitgliedsstaaten der EU [2, S.210-212].

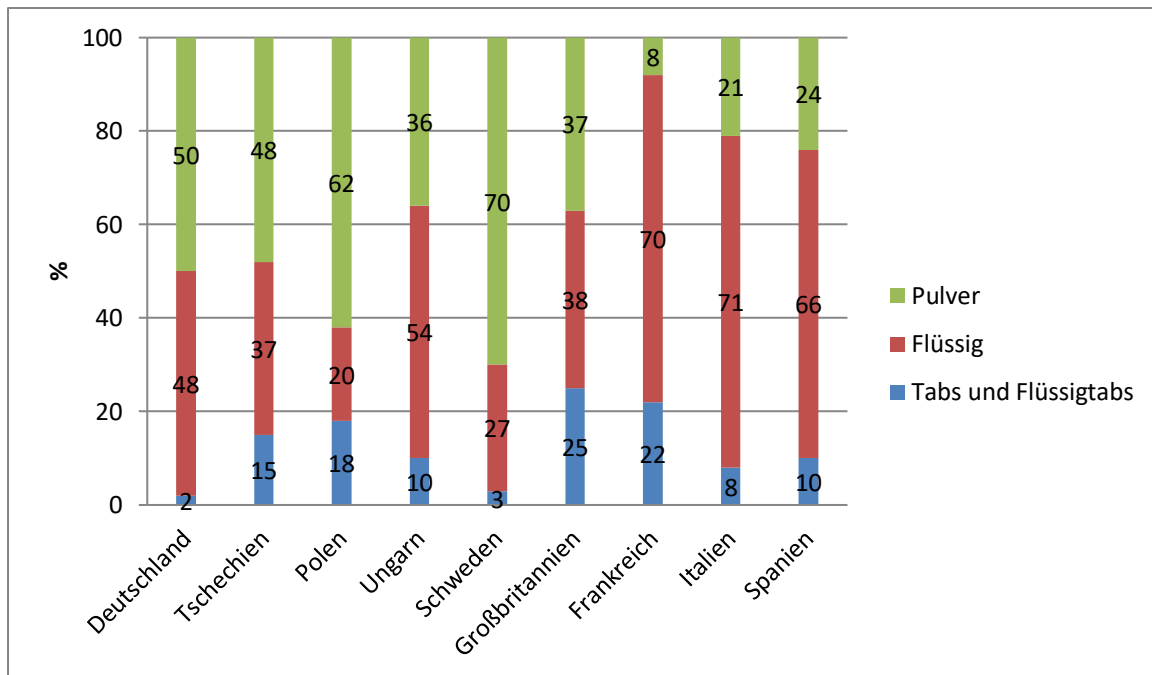


Abbildung 1: Marktanteile der verschiedenen Waschmitteltypen von ausgewählten europäischen Ländern [2, S.211].

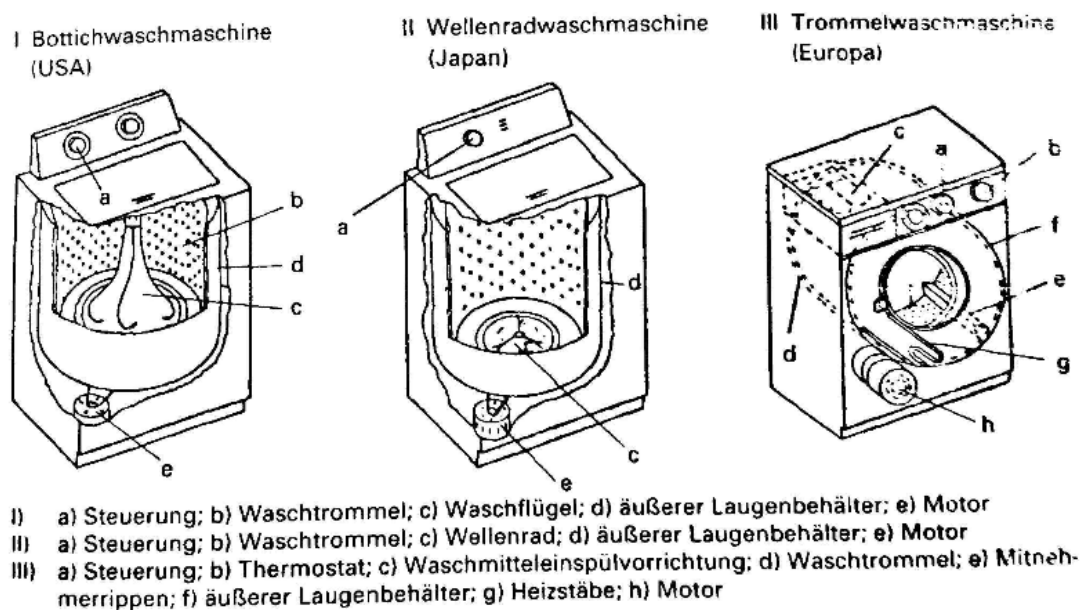


Abbildung 2: Unterschiede zwischen amerikanischen, japanischen und europäischen Waschmaschinen [2, S.21].

4. Inhaltsstoffe von Waschmittel

Obwohl die Inhaltsstoffe in Waschmitteln mehr oder weniger bekannt sind, ist allerdings eine genaue Rezeptur oft ein gut behütetes Geheimnis. Moderne Waschmittel können aus über 20 verschiedenen Inhaltsstoffen bestehen, die je nach Hersteller unterschiedlich zusammengesetzt sind. Doch grundsätzlich enthalten Waschmittel vier Funktionsbausteine, die je nach Produkt unterschiedlich kombiniert werden: Tenside, Gerüstsubstanzen, Bleichmittel, sonstige Inhaltsstoffe. Die Inhaltsstoffe allerdings müssen gekonnt abgestimmt werden, da sie sich sonst im Waschprozess gegenseitig beeinflussen können. Um ein besseres Verständnis für die Thematik zu bekommen, werden im folgenden Kapitel die grundlegenden Inhaltsstoffe vorgestellt [2, S.101, 89-91].

Tabelle 1: Vergleich der Rezeptur von pulverförmigen Waschmitteln [2, S.96].

Funktionsbaustein	Inhaltsstoffe	Vollwaschmittel	Colorwaschmittel
		[%]	[%]
Tenside	Lineares Alkylbenzolsulfonat (LAS)	13	12
	Fettalkoholsulfat (FAS)	-	-
	Fettalkoholethoxylat (FAEO)	3	4
	Seife	-	-
Gerüstsubstanzen	Zeolith A	1	1
	Soda	20	29
	Polycarboxylate	3	3
	Natriumcitrat	-	9
	Natriumsilicat	2	2
Bleichmittel	Natriumpercarbonat	13	-
	Tetraacetylenhydylendiamin (TAED)	4	-
	Bleichkatalysator	< 1	-
Enzyme	Proteasen	< 1	
	Lipasen		
	Amylasen		
	Cellulasen		
	Mannanase		

Sonstige Inhaltsstoffe	Phosphonate	1	1
	Siliconöl/Paraffinöl (Schauminhibitoren)	0,1	0,1
	Carboxymethylcellulose	3	2
	Optische Aufheller	0,2	-
	Farbübertragungsinhibitoren (PVP,PVP-Derivate)	-	0,5
	Soil-Release-Polymere	0,5	0,5
	Duftstoffe	< 0,5	< 0,5
	Farbstoffe	-	-
	Natriumsulfat	25	30

4.1 Tenside

Den weitaus wichtigsten Inhaltsstoff und den größten Anteil im Waschmittel stellen die Tenside dar, die einen besonderen Molekülbau aufweisen. Sie enthalten sowohl einen hydrophoben, wasserabweisenden als auch einen hydrophilen, wasserliebenden Molekülteil und sind deshalb amphiphil. Schematisch kann man alle Tenside mit einem sogenannten Kopf-Schwanz-Modell darstellen. Der Schwanz stellt den langkettigen Kohlenwasserstoffrest dar, der bei allen Tensiden recht ähnlich aussieht. Der hydrophile Kopf kann hingegen je nach Ladung sehr unterschiedlich sein, deshalb werden Tenside anhand ihrer Kopfgruppe in anionische, kationische, nichtionische und amphotere Tenside eingeteilt.

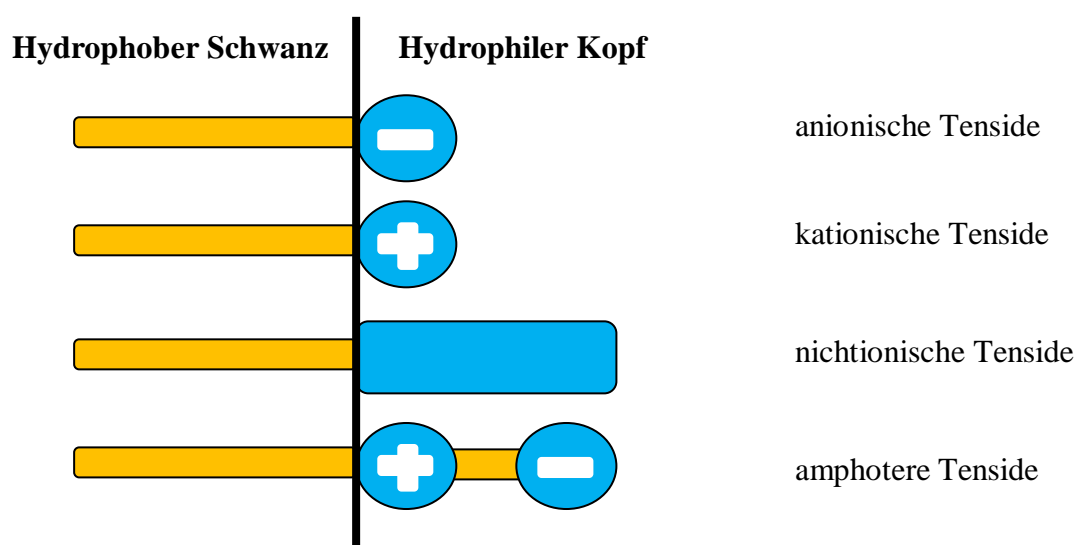


Abbildung 3: Schematischer Aufbau von Tensiden [2, S.51].

Die Verknüpfung der hydrophilen Gruppe und die Art der Verzweigung und die Kettenlänge des Alkyl-Restes spielen eine Rolle für die Waschaktivität der Tenside. Tenside können allerdings nicht jeden Schmutz beseitigen, da sie unter gewissen Umständen ihre Wirksamkeit verlieren können. Insbesondere die Seife als anionisches Tensid kann in Gegenwart von Erdalkaliionen, wie Calcium- und Magnesiumionen eine unerwünschte Reaktion eingehen und dabei schwer lösliche Salze bilden. Die entstandene Kalkseife bzw. Magnesiumseife kann das Waschvermögen sehr einschränken und sich auch auf den Textilien ablagern. Deshalb kommen überwiegend wasserhärteunempfindliche Tenside in den modernen Waschmitteln zum Einsatz. Weitere Aspekte, die die Tenside negativ beeinflussen können, sind die verwendete Temperatur, das Schaumverhalten, andere Waschmittelinhaltsstoffe und der pH-Wert, die Auswirkungen auf die Löslichkeit, Bindungskräfte zwischen Faser und Schmutz sowie der mechanischen Bewegung in der Waschmaschine haben [2, S.49, 63, 78, 142; 3, S.50-51].

4.1.1 Funktion

Generell leitet sich der Name Tensid vom Lateinischen ab und bedeutet so viel wie Spannung. Aufgrund der besonderen Molekülstruktur haben sie bestimmte Eigenschaften, eine davon wäre die bevorzugte Anreicherung an der Grenzfläche. Allgemein unter Grenzflächenspannung versteht man die Kräfte, die zwischen zwei nicht mischbaren Phasen auftreten.

Eine spezielle Form der Grenzflächenspannung ist daher die Oberflächenspannung, die z.B. bewirkt, dass ein Wasserläufer auf dem Wasser laufen kann, oder eine Stecknadel nicht absinkt. Verantwortlich dafür ist die hohe Polarität eines Wassermoleküls, welche sich durch die hohe Elektronegativität des Sauerstoffatoms im Molekül ergibt, das gerne Elektronen aus Elektronenpaarbindungen an sich zieht. Durch die Ladungsverschiebung im Wassermolekül können sich nun gegensätzliche Ladungen gegenseitig anziehen und die Wassermoleküle bilden so Wasserstoffbrücken untereinander aus. Im Inneren der Flüssigkeit wirken diese Anziehungskräfte nach allen Seiten und kompensieren sich gegenseitig. An der Oberfläche des Wassers fehlt diese Komponente und die Kräfte wirken nur einseitig mit einer resultierenden Kraft, die ins Innere des Wassers gerichtet ist. Aus diesem Grund versucht eine Wasserportion immer eine möglichst kleine Oberfläche auszubilden und mittels zusätzlicher Kräfte (Schwerkraft, Wechselwirkung mit Unterlage) entsteht die Tropfenform. Prinzipiell hängt die Oberflächenspannung von der Stärke der Anziehungskräfte zwischen den Molekülen in der Flüssigkeit ab. Wasser hat aufgrund der starken Wasserstoffbrückenbindungen eine sehr große Oberflächenspannung mit 73 mN/m. Wird ein Tensid nun in Wasser gelöst, so ordnen sie sich bevorzugt an der Oberfläche (Phasengrenze) an, dabei befindet sich der hydrophile Tensidkopf

in der wässrigen Lösung während der hydrophobe Kohlenwasserstoffrest in die Luft ragt. An der Wasseroberfläche haben die Tenside die Triebkraft die Oberfläche zu vergrößern und dadurch einen nach außen gerichteten Oberflächendruck zu bewirken, der die Oberflächenspannung somit herabsetzt.

Durch die Grenzflächenaktivität lassen sich jedoch weitere spezifische Eigenschaften ableiten. So ist schon eine kleine Menge an Tensiden für die Herabsetzung der Oberflächenspannung des Wassers verantwortlich, sobald jedoch ein weiteres Tensid hinzugegeben wird, können sich die Tensidmoleküle nicht mehr an der Oberfläche anlagern und beginnen damit, sich wie in Abbildung 4 zu Micellen zusammenzuschließen. Die Tensidmoleküle ordnen sich innerhalb der Micelle so an, dass der hydrophile Teil in Richtung Wasser ragt, während der hydrophobe Teil nach innen gerichtet ist. In verdünnten Tensidlösungen bilden sich bevorzugt kugelförmige oder zylindrische Micellen. Wird die Konzentration erhöht, kommt es zur Bildung von stabförmigen bzw. wurmartigen Micellen.

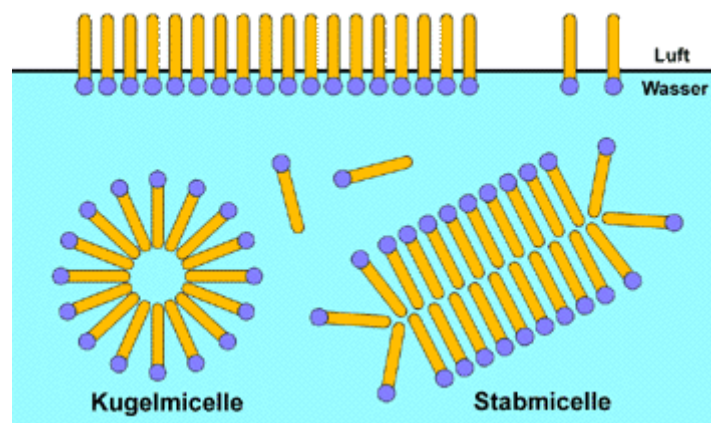


Abbildung 4: Micellenbildung [7].

Durch mechanische Einwirkung wie z.B. Schütteln einer Tensidlösung, dringt Luft in die wässrige Lösung und es entstehen dabei Schaumblasen. Es kommt zur Ausbildung einer Tensiddoppelschicht, die mit einer dünnen Schicht Wasser voneinander getrennt ist, diese Doppelschicht aus Tensiden wird Lamelle genannt. Ein klassisches Beispiel für so eine Lamelle wäre eine Seifenblase. Eine weitere wichtige Eigenschaft von Tensiden ist das Benetzungsvermögen, damit ist man überhaupt erst in der Lage, Schmutz von einem Textilgewebe zu entfernen. Diese Benetzung ist ausschlaggebend für den Waschprozess, denn sie bildet mittels Adhäsionskräften eine Grenzfläche zwischen den Wassermolekülen und der Faser. Bei Zugabe von Tensiden wird dies begünstigt, sodass sowohl die Faser als auch der Schmutz von einer Tensidschicht umgeben sind. Dann kommt es nämlich zur Verminderung der Schmutzhaftung indem sich eine hydrophile Schicht zwischen Faser und Schmutz bildet,

ein sogenanntes Primärwaschvermögen. Hydrophobe Substanzen wie Öl werden schließlich vollständig von Tensidmolekülen eingehüllt und können in diesem Zustand im Wasser gehalten werden. Die hydrophile Hülle verhindert durch Ladungs- und Abstoßungseffekte die Wiederablagerung des Schmutzes auf der Faser, dem Sekundärwaschvermögen. Somit liegt eine feine Verteilung von festen Teilchen in der Flüssigkeit, eine Suspension bzw. von flüssigen Teilchen, eine Emulsion vor. Tenside wirken also auch als Dispergiermittel und können zwei nicht mischbare Substanzen vermengen [2, S.71-88; 3, S. 34-47; 7].

4.1.2 Tensidklassen

4.1.2.1 Anionische Tenside

Die anionischen Tenside zählen zu den weitverbreitetsten Waschmitteln. Sie tragen am langen hydrophoben Kohlenwasserstoffrest eine negativ geladene funktionelle Gruppe, deren wichtigste Vertreter das Carboxylatanion ($-\text{COO}^-$), das Sulfonatanion ($-\text{SO}_3^-$) oder das Sulfatanion ($-\text{O}-\text{SO}_3^-$) sind. In Kombination mit den Kationen Ammonium (NH_4^+), Triethanolammonium ($((\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+)$) oder am häufigsten mit Natrium oder Kalium bilden die anionischen Tenside Salze.

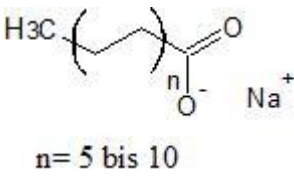

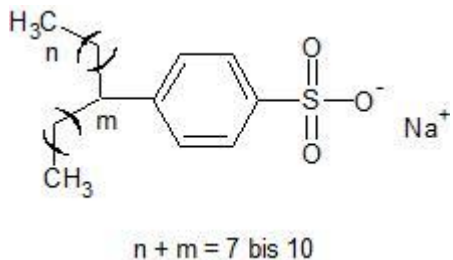
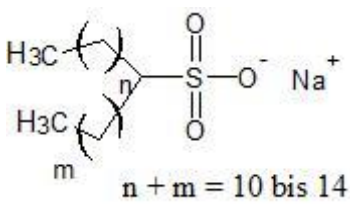
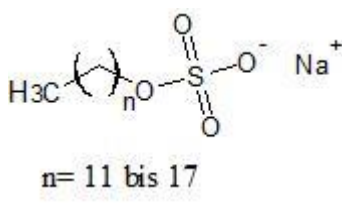
So gilt die Seife als das klassische anionische Tensid und besteht aus Natrium- oder Kaliumkationen, die mit höheren Fettsäuren zu Salzen verbunden sind. Als Kernseife werden die festen Natriumsalze bezeichnet, hingegen die weicheren Kaliumsalze als Kali- bzw. Schmierseife.

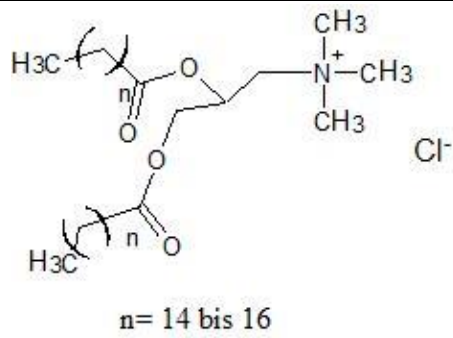
Wirtschaftlich bedeutsam sind die Alkylbenzolsulfonate (TPS, LAS), die in den Fünfzigerjahren die Seife in den Waschmitteln überwiegend verdrängten. TPS steht für Tetrapropylbenzolsulfonat, das jedoch durch die schlechte biologische Abbaubarkeit schon bald von linearen Alkylbenzolsulfonaten (LAS) ersetzt wurde. Das LAS besitzt einen unverzweigten Alkylrest und ist heutzutage zu einem wichtigen Waschmitteltensid geworden, denn es ist günstig, hat ein gutes Wasch- und Schaumverhalten und ist zusätzlich gut in kaltem Wasser löslich. Ähnliche Eigenschaften weisen die sekundären Alkylsulfonate (SAS) auf, die allerdings nur gut geeignet sind für flüssige Waschmittel oder Geschirrspülmittel.

Die Fettalkoholsulfate (FAS) sind Salze der Schwefelsäureester von Fettalkoholen, die je nach Herstellung geradkettig oder verzweigte Alkohole sind. Die FAS haben eine große Bedeutung in der Industrie für die Herstellung von anderen wichtigen anionischen, nichtionischen und kationischen Tensiden und wurden als das erste Tensid für Feinwaschmittel (FEWA) verwendet. Die Fettalkoholethersulfate (FAES) ähneln den FAS, sind gut hautverträglich, sehr schaumintensiv und besitzen mittels Oxethylat-Gruppe ein gutes Dispergiervermögen. Sie

kommen daher überwiegend in Feinwaschmittel, Handgeschirrspülmittel, Shampoos und Schaumbäder zum Einsatz [2, S.53-62; 3, S.53-60].

Tabelle 2: anionische Tenside [2, S.55].

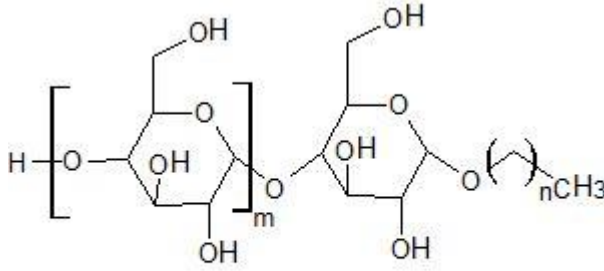
Seifen	 $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{COO}^- \text{Na}^+$ <p>$n = 5 \text{ bis } 10$</p>
Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS)	 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{SO}_3^- \text{Na}^+)(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)_4$
Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS)	 $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_3^- \text{Na}^+-(\text{CH}_2)_m-\text{CH}_3$ <p>$n + m = 7 \text{ bis } 10$</p>
Sekundäre Alkansulfonate (SAS)	 $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_2-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_m-\text{CH}_2-\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ <p>$n + m = 10 \text{ bis } 14$</p>
Fettalkoholsulfate (FAS)	 $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{O}-\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ <p>$n = 11 \text{ bis } 17$</p>

<p style="text-align: center;">Diesterquat</p>	 <p style="text-align: center;">$n = 14 \text{ bis } 16$</p>
---	---

4.1.2.3 Nichtionische Tenside

Diese werden auch als Niotenside abgekürzt und bilden keine hydratisierten Ionen in wässriger Lösung, da der hydrophile Anteil aus stark polaren chemischen Verbindungen besteht. Häufige hydrophile Gruppen sind Ether- und Hydroxylgruppen bzw. Kombinationen aus beiden. Niotenside sind relativ unempfindlich gegen Wasserhärte, haben eine sehr gute Wasch- und Entfettungswirkung bei niedrigen Temperaturen und Konzentrationen und sind zusätzlich gute Vergrauungsinhibitoren und schaumarme Tenside. Aufgrund dieser Eigenschaften werden sie bevorzugt in den modernen Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzt. Zu den wirtschaftlich bedeutendsten Niotenside gehören die Fettalkoholethoxylate (FAEO). Weiters gibt es auch Tenside auf Zuckerbasis, so werden die Alkylpolyglucoside (APG) als Cotensid in Wasch- und Reinigungsmitteln bzw. Shampoos immer häufiger eingesetzt. Da sie vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen wie Mais, Kartoffeln, Zuckerrohr etc. hergestellt werden können, sind sie darüber hinaus noch leicht biologisch abbaubar und gut hautverträglich. Ein weiterer Naturstoff mit grenzflächenaktiven Eigenschaften sind Saponine, sogenannte Extrakte aus Seifenkraut. Saponine sind weit verbreitet in der Natur und sind z.B. in der bekannten asiatischen Waschnuss enthalten, aber auch in der herkömmlichen Kastanie [2, S. 62-68, 7].

Tabelle 4: nichtionische Tenside [2, S.63].

Fettalkoholethoxylate (FAEO)	$\text{H}_3\text{C}-(\text{---})_n-\text{O}-(\text{---CH}_2\text{CH}_2\text{O})_m-\text{H}$ <p>n= 9 bis 17 m= 3 bis 15</p>
Alkylpolyglucoside (APG)	 <p>m= 0 bis 5 n= 11 bis 13</p>

4.1.2.4 Amphotere Tenside

Amphotere Tenside besitzen im hydrophilen Teil sowohl eine positiv als auch eine negativ geladene Gruppe. Die bekanntesten Vertreter sind die Alkylbetaine, kurz Betain. Diese finden sich bevorzugt in Spezialwaschmittel, Shampoos und Geschirrspülmittel, da sie wenig toxisch sind, gut verträglich für die Haut sind, sich mit anderen Tensiden kombinieren lassen und weiters unempfindlich gegenüber hartem Wasser sind [2, S.70; 3, S.63].

Tabelle 5: amphotere Tenside [2, S.70].

Alkylbetain (Betain)	$\text{H}_3\text{C}-(\text{---})_n-\text{CH}_2-\text{N}^+(\text{H}_3\text{C})_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{O}^-$ <p>n= 10 bis 12</p>
-----------------------------	--

4.1.3 Tenside in Waschmittel

Tenside kommen in den modernen Waschmitteln in mehreren Kombinationen vor, somit erhält man ein breites Anwendungsspektrum. Dies zieht eine ständige Weiterentwicklung mit sich, sodass die Gesamtmenge an Tensiden bei gleichbleibender Waschleistung reduziert werden kann. Für die Waschmittel haben sich Kombinationen aus anionischen und nichtionischen Tensiden durchgesetzt, sodass die linearen Alkylbenzolsulfonate (LAS) und die Fettalkoholethoxylate (FAEO) für die Waschmittel eine große Bedeutung erlangt haben, da sie sich gegenseitig mit ihren Eigenschaften sehr gut ergänzen können. Mit solchen Tensidmischungen erhält man eine hohe Dynamik der Tenside bei einer gleichzeitig geringeren Gleichgewichtsoberflächenspannung und einer niedrigen Konzentration an Micellenbildung. In einigen Voll-, Fein- und Spezialwaschmitteln findet man sogar sogenannte ternäre Tensidsysteme, die neben anionischen und nichtionischen Tensiden auch geringe Mengen an kurzkettigen Kationentensiden enthalten. Das Verhältnis der kationischen und anionischen Tenside muss in diesem Fall abgestimmt werden, um die erwünschte Waschkraft zu erzielen. Es gibt aber auch flüssige Wollwaschmittel, die ausschließlich kationische und nichtionische Tenside beinhalten und völlig auf anionische Tenside verzichten [2, S.87, 101-104].

4.2 Gerüstsubstanzen

Einen wesentlichen Anteil für den heutigen Waschprozess stellen die Gerüstsubstanzen oder auch Builder dar. Sie sind auch unter dem Begriff Enthärter bekannt, allerdings ist das nur eine der Eigenschaften die sie übernehmen, deshalb ist der Name Gerüstsubstanzen eher gerechtfertigt. Sie sind für den heutigen Waschprozess nicht mehr wegzudenken, weil sie unter anderem den Wascherfolg bestimmen. Da sie jedoch sehr den ökologischen Anforderungen unterliegen, kommt es zu einer ständigen Weiterentwicklung der modernen Gerüstsubstanzen [2, S.104-106; 3, S.64-67].

4.2.1 Funktion

Die im Wasser enthaltenen Calcium- und Magnesium-Ionen beeinflussen die Wasserhärte, die je nach Region unterschiedlich stark sein kann. Man gibt die Wasserhärte in Deutschen Härtegraden an, die dann Auskunft gibt, ob man es mit hartem oder weichem Wasser zu tun hat. Folgende Tabelle veranschaulicht die Einteilung der Wasserhärte [8].

Tabelle 6: Einteilung der Wasserhärte [8].

Härtebereich	Dt. Härtegrade [°dH]	Bezeichnung
1	0-7	Weich
2	7-14	Mittel
3	14-21	Hart
4	>21	Sehr hart

Wie viel von diesen Härtebildnern im Wasser vorkommen hängt vom geologischen Untergrund ab. Laut dem Wasserwerk Österreich zählt Graz mit 15-16°dH zu den härteren Wasserversorgern, während Innsbruck mit 6-7°dH zu den weicheren zählt. Sehr hartes Wasser findet man in Grieskirchen (OÖ) mit 20-23°dH [9].

Die nun im kalkhaltigen Wasser entstandenen Calcium-Ionen im Carbonat-Gleichgewicht können mit den Seifen schwerlösliche Salze bilden, die als weißer Niederschlag ausfallen. Die Entstehung dieser Kalkseifen zieht nun einige Nachteile mit sich. Einerseits benötigt man große Mengen an Seife und andererseits kommt es zu unerwünschten Ablagerungen auf dem Textilgewebe, die dann die Saugfähigkeit und den Griff der Wäsche negativ beeinflussen und zusätzlich zur Vergrauung führen. Außerdem können bei höheren Temperaturen die Heizstäbe der Waschmaschine verkalken, wobei es zu einer Kesselsteinbildung kommen kann.

Daher ist es primär die Aufgabe der Gerüstsubstanzen diese härtebildenden Ionen aus dem Wasser zu eliminieren und sowohl die Tensid-Wirkung zu verbessern und nebenbei auch die Primär- und Sekundärwaschwirkung zu unterstützen [2, S.104-106; 3, S.64, 8].

4.2.2 Einteilung der Gerüstsubstanzen

Allgemein kann man die Gerüstsubstanzen aufgrund ihrer chemischen Wirkung in folgende drei Gruppen einteilen: Fällungsenthärter, Komplexbildner und Ionenaustauscher.

4.2.2.1 Fällungsenthärter

Die ersten Enthärter in den modernen Waschmitteln waren Soda und Silicat. Dabei werden die Calciumionen als schwerlösliche Calciumcarbonate bzw. Calciumsilicate ausgefällt, die dann die Bildung der Kalkseife verhindern. Die Reinigungsleistung der Seife und die Schmutzablösung durch den gleichzeitig erhöhten pH-Wert wurden somit erleichtert. Dennoch kam es beim anschließenden Spülen durch den Kontakt mit dem kalkhaltigen Wasser wieder zur unerwünschten Ablagerung der Kalkseife auf der Wäsche [2, S.104-106].

4.2.2.2 Komplexbildner

Ab den 1930er Jahren kam es zum Gebrauch von Phosphaten in den pulverförmigen Waschmitteln, die als sehr wirksam und preisgünstig galten. Das dabei verwendete Pentanatriumtriphosphat dissoziiert in Wasser zu Natriumkationen und fünffach negativ geladenes Triphosphatanion. Dieses Triphosphatanion ist nun in der Lage leicht lösliche und stabile Chelatkomplexe mit den Erdalkalitionen und auch mit Schwermetallionen zu bilden. Jedoch muss die Phosphatkonzentration im Überschuss vorliegen, sonst kommt es zur Ausbildung schwer löslicher Calciumphosphate. Mit Zusatz von Polycarboxylaten oder anderen Cobuildern kann man diese Ausfällung der Calciumphosphate verhindern.

Obwohl der Einsatz von Pentanatriumtriphosphat einige Vorteile mit sich zieht und eine Reihe an günstigen Eigenschaften aufweist, stehen dem Ganzen gravierende ökologische Probleme entgegen. Durch die hohe Nährstoffzufuhr mittels Phosphate kommt es zu einem übermäßigen Algenwachstum und zu einer Eutrophierung der Gewässer. Daher wurde relativ bald nach Ersatzstoffen gesucht, um die Phosphate vom Markt zu nehmen [2, S.106-107].

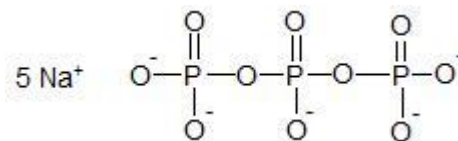


Abbildung 5: Pentanatriumtriphosphat [2, S.107].

4.2.2.3 Ionenaustauscher

Ab dem Jahr 1980 wurde zunehmend eine neue phosphatfreie Gruppe an Enthärtern verwendet, die Zeolithe. Sie werden als Natriumaluminiumsilicate unterschiedlicher Zusammensetzung bezeichnet, mit der Summenformel $\text{Na}_x\text{Al}_y\text{SiO}_2$. Es handelt sich dabei um Ionenaustauscher, die je nach Kristallaufbau in Zeolith A, Zeolith P oder andere Typen unterschieden werden. Eine spezielle Modifikation, das Zeolith A, erwies sich als besonders brauchbar für den Einsatz in Waschmitteln. Es ist auch unter dem Handelsnamen SASIL = Sodium-Aluminium-Silicat bekannt. Dieses hat einen charakteristischen Kristallaufbau, nämlich würfelförmige Kristalle mit abgerundeten Ecken. Das Grundgerüst bilden SiO_4 – Tetraeder, wobei jedes zweite Siliciumatom von einem Aluminiumion ersetzt ist, damit eine negative Ladung vorliegt, die anschließend von Natriumionen ausgeglichen werden. Sie bilden aufgrund ihrer räumlichen Struktur kleine Hohlräume aus, in denen sich die Natriumionen in Lösung frei bewegen. Die

Calciumionen mit vergleichbarer Größe können dann durch Ionenaustausch in das Zeolithgitter dementsprechend gut eingebunden werden. Hingegen bilden die Magnesiumionen eine größere und festere Hydrathülle aus und können vergleichsweise nicht so leicht in das Zeolithgitter eingelagert werden. So kann es passieren, dass es trotz Anwesenheit von Zeolith zu unerwünschten Fällungsreaktionen kommen kann. Sie sind daher auf zusätzliche Enthärterbestandteile wie Alkalibildner oder Cobuilder angewiesen [2, S.106-109; 3, S.64-66].

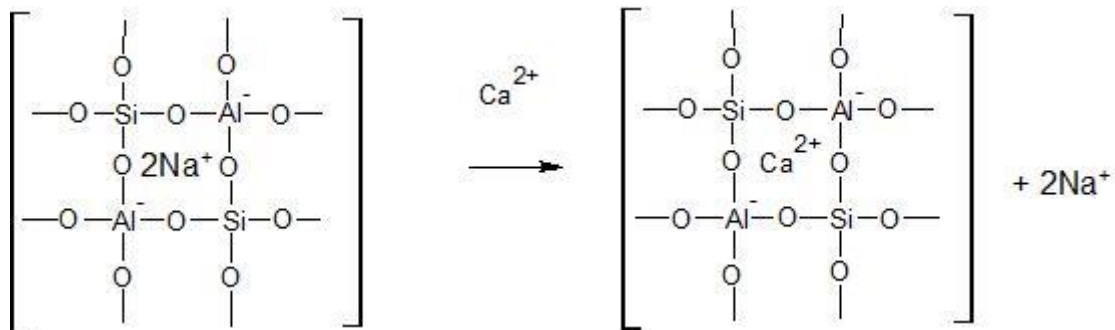


Abbildung 6: Ionenaustausch im Zeolith A [2, S.109].

4.2.2.4 Cobuilder

Heutzutage ist es auch möglich auf zeolith- und phosphatfreie Enthärtersysteme zurückzugreifen. Dazu benötigt man zusätzlich gewisse Cobuilder, wie Polycarboxylate, die nicht nur das Kristallwachstum von schwer löslichen Erdalkalisalzen verhindern, sondern auch selbst Erdalkaliionen komplexieren können. Sie verringern außerdem Ablagerungen auf der Wäsche und wirken quasi als Vergrauungsinhibitoren. Seit 2002 werden vermehrt vor allem in Europa Enthärtersysteme auf Basis von Soda/Silicat zusammen mit Polycarboxylaten eingesetzt. Diese Polycarboxylate bieten nun viele Vorteile, jedoch wird aufgrund der schlechten biologischen Abbaubarkeit nach Ersatzstoffen gesucht.

Auch die Citronensäure bzw. ihre Salze, die Citrate, kommen als Cobuilder vor allem in Kombination mit Zeolith A vor. Sie werden bevorzugt in Colorwaschmitteln eingesetzt und kommen sowohl in pulverförmigen als auch flüssigen Waschmitteln vor. Auch sie sind in der Lage durch die Komplexierung von Erdalkaliionen die Bildung von Kalkseife zu verhindern. Problematisch ist allerdings, dass sie nur im unteren Temperaturbereich (unter 60°C) genügend Calciumbindevermögen aufweisen und außerdem mit hohen Kosten verbunden sind. Daher wird die Citronensäure bzw.-Citrate überwiegend nur als Zusatz verwendet [2, S.110-112].

4.3 Enzyme

Protein- und stärkehaltige Verschmutzungen wie z.B. Kakao, Eigelb, Blut, Soßen etc. auf Textilien können, wenn sie erst einmal eingetrocknet sind, nicht mehr so leicht mit Tensiden oder Bleichmitteln entfernt werden. Solche organischen Flecken haften ziemlich fest an der Faser und sind nur sehr schwer wasserlöslich. Zum Entfernen verwendet man nun Enzyme, d.h. große, kompliziert aufgebaute Eiweißmoleküle. Sie sind in der Lage als spezifische Biokatalysatoren zu wirken und können schon in sehr geringen Mengen ihre Leistung erbringen, da sie selbst nicht verbraucht werden. Ihre Aufgabe ist es, große wasserunlösliche Moleküle in kleinere Bruchstücke zu spalten, die man dann problemlos aus dem Gewebe herauswaschen kann. Enzyme haben jedoch auch gewisse Einschränkungen die man beachten muss. Dazu zählt die Wirksamkeit der Enzyme bei einem bestimmten Temperaturbereich, der meistens zwischen 20°C und 65°C liegt. Allerdings ist zu erwähnen, dass das Temperaturoptimum abhängig vom jeweiligen Enzym ist. Des Weiteren sind Enzyme auch relativ empfindlich gegenüber dem pH-Wert, sodass sie ihr pH-Optimum meist zwischen pH 9 und pH 11 haben. Aus dieser Abhängigkeit von der Temperatur und dem pH-Wert und zusätzlich durch das Beeinflussen anderer Inhaltsstoffe wie Bleichmittel, Tenside oder Gerüstsubstanzen war es anfänglich sehr schwer die Enzyme in die Waschmittelrezeptur aufzunehmen. Erst ab 1960 konnte man aus Bakterien gewonnene Proteasen industriell herstellen, sodass 80% der Waschmittel Enzyme beinhalten. Allerdings führte der feine Enzymstaub bei der Produktion zu Krankheiten und allergischen Reaktionen. Es wurde daraufhin die Enzymherstellung umgestellt und man kapselte die Enzyme in kleine Kügelchen ein, den sogenannten „Prills“. Die Verwendung von Enzymen wurde somit als unbedenklich eingestuft und wurde zunehmend weiterentwickelt und leistungsfähiger gemacht. Heutzutage findet man Proteasen, Lipasen, Amylasen, Mannanasen, Pektinasen und Cellulasen in den Waschmitteln, um den Schmutz noch gezielter zu entfernen [2, S.124-130; 10].

4.3.1 Proteasen

Bei den Proteasen handelt es sich um Enzyme, die eiweißhaltigen Schmutz beseitigen indem sie Proteine zu kleineren wasserlöslichen Fragmenten, den Aminosäuren oder Peptiden abbauen. Dabei kommt es zu einer hydrolytischen Spaltung der Peptidbindung. Generell zählen die Proteasen zu den ältesten und meistverwendeten Enzymen in den Waschmitteln, die ständig optimiert werden, sodass sie heutzutage auch schon bei relativ schwach alkalischen Bedingungen ihre Wirkung entfalten können. Wäscht man jedoch Wolle oder Seide, die selbst

aus Proteinen bestehen, kann die Faser durch den Angriff dieser Enzyme beschädigt werden [2, S.125-128; 10].

4.3.2 Weitere Enzyme

Neben den Proteasen wurden auch relativ bald Amylasen eingesetzt, die vor allem stärkehaltige Verschmutzungen beseitigten. 1988 kamen dann die Lipasen hinzu, die als fettsplattende Enzyme den Tensiden das Schmutzablösen erleichterten und auch schon bei Zimmertemperatur ihre Leistung erbringen konnten.

Die Cellulasen entfernen abstehende Fasern der Cellulose und glätten so die Oberflächenstruktur der Baumwollfaser. Dies zeigt sich durch eine verbesserte Schmutzablösung für die Tenside und gleichzeitig einer bemerkbaren höheren Farbbrillanz. Sie werden deshalb bevorzugt in Colorwaschmitteln oder Feinwaschmitteln für farbige Textilien verwendet.

Das Enzym Mannanase spaltet das Polysaccharid Galactomannan, das in Guarkernmehl oder Johannisbrotkernmehl enthalten ist. Diese Verdickungs- und Strukturmittel finden sich vorwiegend in Kosmetik und Lebensmitteln wie z.B. Pudding, Gelee, Soßen etc. und sind mit dem Zusatzstoff E410 (Johannisbrotkernmehl) und E412 (Guarkernmehl) gekennzeichnet.

Seit 2012 sind auch Pektinasen in Waschmitteln enthalten, sie sind in der Lage Pektine in kleinere Fragmente zu spalten und somit wasserlöslich zu machen. Grundsätzlich handelt es sich bei Pektinen um Glykoside, die in der Natur in Früchten, Blättern und Wurzeln zu finden sind. Jedoch auch in Lebensmitteln, Kosmetik und in der Pharmazie verwendet man sie als Verdickungs-, Gelier- oder auch als Stabilisierungsmittel [2, S.125-129].

4.3.3 Enzyme im Waschmittel

Die Verwendung von Enzymen in Waschmitteln ist oft mit einigen Hürden verbunden. So stellt die Lagerstabilität in flüssigen Waschmitteln oft ein Problem dar, denn bei einer zu langen Lagerzeit kann es zum Verlust der Aktivität bzw. zu unerwünschten Beeinflussungen der Enzyme untereinander kommen. Daher benötigen die Enzyme dementsprechend eine Unterstützung für die Stabilität, die in Form von Zusätzen wie Ethanol, Glycerin, Polyethylenglykol, Tripropylenglykol, 2-Propanol, 1,2-Propylenglykol, Harnstoff, Sorbit, Borate und auch von Polycarboxylate und anderen Komplexbildner erhalten wird. Des Weiteren hat sich im Bereich der Temperatur auch schon einiges getan, sodass man bereits bei Temperaturen unter 40°C noch immer eine ausreichende Enzymaktivität hat. Die generelle Enzymdosierung in den Waschmitteln ist auf Grund der verbesserten und leistungsfähigeren

Enzyme zurückgegangen. Allerdings wird ständig an neuen und verbesserten Enzymklassen gearbeitet, um gewisse Mängel vollkommen zu beseitigen [2, S.129-130].

4.4 Polymere

Heutzutage kann auf Polymerverbindungen im Waschmittel nicht mehr verzichtet werden, sie kommen in Form von Vergrauungsinhibitoren, Farbschutzpolymeren und seit Neuestem auch als Folienmaterial für flüssige Waschmittel vor. Die schon beschriebenen Gerüstsubstanzen, nämlich die Polycarboxylate zählen ebenfalls zu den Polymereninhaltsstoffen [2, S.130].

4.4.1 Vergrauungsinhibitoren

Die Aufgabe der Vergrauungsinhibitoren liegt darin, zu verhindern, dass sich abgelöster Schmutz wieder auf der Faser absetzt, da oft nicht alle Tenside ein ausreichendes Schmutztragevermögen aufweisen. Wenn es zu einer Wiederablagerung auf dem Textil kommt, kann es zu einer irreversiblen Vergrauung kommen. Mit einer geeigneten Zusammensetzung der Tenside und den Gerüststoffen oder mit einem Zusatz von Vergrauungsinhibitoren kann man dem entgegenwirken. Dies funktioniert so, dass sie sich auf der Faser anhaften und so einen Wiederkontakt zwischen Faser und Schmutz verhindern. Die Voraussetzung dafür ist, dass die Vergrauungsinhibitoren der Textilfaser strukturell ähneln.

Eine Form davon wären die Natriumsalze der Carboxymethylcellulose (CMC), die aber ausschließlich für die Cellulosefasern der Baumwolle geeignet sind. Für Synthesefasern mit geringerer Polarität müssen daher andere Polymere eingesetzt werden. Dazu zählen Polymerstrukturen aus Polyester- und Polyethereinheiten auf Basis der Terephthalsäure und in manchen Fällen werden auch sulfonierte Isophthalsäureeinheiten zugesetzt. Diese Polymere können nun in verschiedenen Kombinationen vorkommen und sind unter dem Begriff Soil-Release-Polymere (SRP) bekannt.

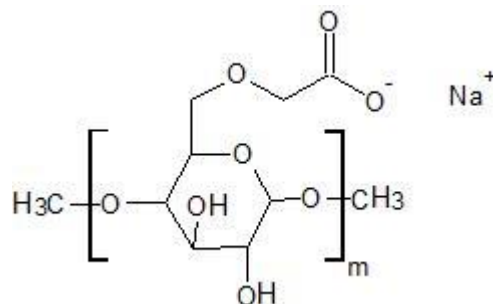


Abbildung 7: Natriumsalz der Carboxymethylcellulose (CMC) [2, S.131].

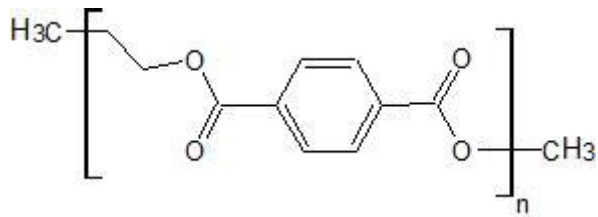


Abbildung 8: Polyestereinheit [2, S.131].

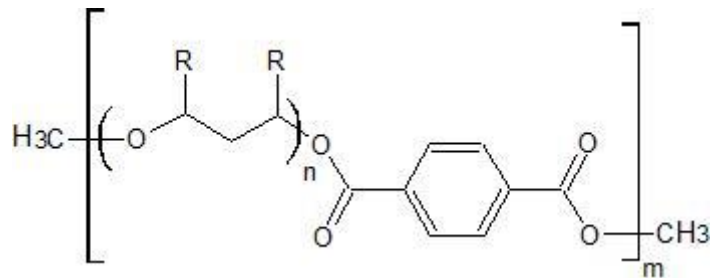


Abbildung 9: Polyethereinheit [2, S.131].

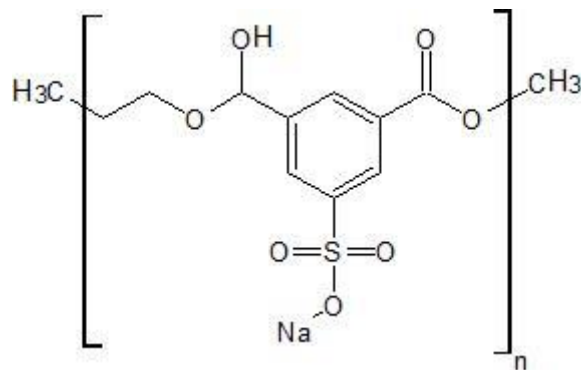


Abbildung 10: Isophthalsäureeinheit [2, S.131].

Sie gewährleisten ein verbessertes Ablösen von fett- und ölhaltigen Verschmutzungen indem sie eine hydrophile Schutzschicht um die Textilfaser bilden. Diese Soil-Release-Polymere sind selbst amphiphil und binden mit dem hydrophoben Teil fest an der ebenfalls hydrophoben Synthefaser und lassen den hydrophilen Teil nach außen ragen. Diese amphiphile Polymerschicht verhindert nun beim anschließenden Tragen das Anhaften und Eindringen von fett- und ölhaltigem Schmutz und versichert damit ein leichteres Entfernen solcher Verschmutzungen beim nächsten Waschgang. Die Wirkung dieser Soil-Release-Polymere nimmt daher mit jedem Waschgang zu und ermöglicht somit eine bessere Waschleistung bei gleichzeitig relativ niedrigen Waschttemperaturen. Für Baumwolle, die sowohl aus hydrophilen und hydrophoben Einheiten besteht, sind die SRP nicht ausreichend wirksam. Deshalb kommen in der Regel immer verschiedene Vergrauungsinhibitoren in den Waschmitteln vor [2, S.130-133; 8].

4.4.2 Farbschutzpolymere

Werden verschiedene farbige Textilien zusammen in die Waschmaschine gegeben, kann es passieren, dass es zu unerwünschten Farbübertragungen kommt. Der Textilfarbstoff kann sich lösen und erneut auf einer anderen Textilfaser aufziehen. Um nun einen ausreichenden Schutz gegen solche Verfärbungen zu bieten, gibt es Farbübertragungsinhibitoren und Farbpflegepolymere.

Die Farbübertragungsinhibitoren verhindern primär das Wiederaufziehen des Farbstoffes auf der Faser. Dazu verwendet man Polyvinylpyrrolidon (PVP), das bevorzugt in Colorwaschmitteln zu finden ist. Sie wirken so, dass sie die Farbstoffmoleküle umschließen und so einen Wiederkontakt zwischen Faser und Farbstoff verhindern und gleichzeitig stabilisierend wirken. Jedoch bei zu hoher Konzentration des Polyvinylpyrrolidons können sich bestimmte Farbstoffe direkt aus der Faser lösen und es kann zu einem verschlechterten Farbeindruck kommen. Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass PVP seine Wirkung nur bei Cellulosefasern entfalten kann und dementsprechend bei Wolle und Polyamidfasern kaum effektiv ist. Deshalb werden Copolymere aus Vinylpyrrolidon und Vinylimidazol in den modernen Waschmitteln verwendet.

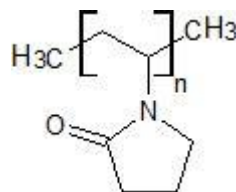


Abbildung 11: Polyvinylpyrrolidon (PVP) [2, S.134].

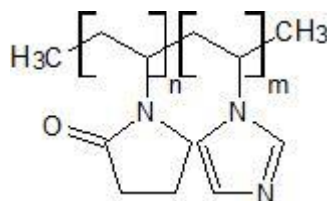


Abbildung 12: Copolymer aus Vinylpyrrolidon und Vinylimidazol [2, S.134].

Die Farbpflegepolymere kommen hauptsächlich in Spezialwaschmitteln vor und sind in der Lage Farbstoffe auf der Textilfaser zu fixieren indem sie Komplexe bilden. Dabei handelt es sich um Substanzen nichtionischer Natur oder um Substanzen die quaternäre Stickstoffgruppen mit kationischer Ladung enthalten [2, S.133-136].

4.4.3 Folien

In den letzten Jahren haben sich immer mehr Flüssig-Tabs d.h. portionierte Waschmittel durchgesetzt, die sich als relativ praktisch erwiesen haben. Man gibt sie direkt in die Waschtrommel zusammen mit der Schmutzwäsche, wo sie sich nach Kontakt mit Wasser aufzulösen beginnen. Der Vorteil darin besteht, dass sie in der Lage sind Inhaltsstoffe voneinander zu trennen, die sich normalerweise im Waschmittel gegenseitig negativ beeinflussen würden.

Anfänglich wurde Polyvinylalkohol (PVAL) als Material für die Folien eingesetzt, da es sich schnell und gut in kaltem Wasser löst. Allerdings werden nun auch Polyvinylalkoholcopolymerfolien verwendet, die zusätzlich noch Vinylsulfonsäure oder andere Sulfonsäurederivate beinhalten [2, S.136].

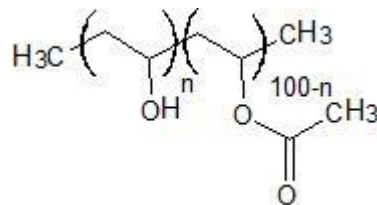


Abbildung 13: Strukturausschnitt von Polyvinylalkohol (PVAL) [2, S.136].

4.5 Optische Aufheller

Das „Weißer als weiß“ wie aus der Werbung bekannt, ist ohne optische Aufheller nicht möglich. Denn das Weiß von der Wäsche hat von Natur aus eine gelbe Farbnuance, da das kurzwellige blaue Licht von der Wäsche absorbiert wird und das reflektierte Licht daher einen Mangel an Blauanteil aufweist. Somit wird die Komplementärfarbe der Blauabsorption vom menschlichen Auge als Gelb wahrgenommen. Früher haben die Hausfrauen durch Zusatz von blauem Farbstoff, dem Waschblau, versucht den Gelbstich aufzuheben. Heute werden statt dem Waschblau optische Aufheller verwendet. Diese Weißmacher sind kompliziert aufgebaute organische Verbindungen, die einerseits ein ausgedehntes System an konjugierten Doppelbindungen aufweisen, die das energiereiche UV-Licht schließlich in sichtbares blaues Licht umwandeln können, indem sie das Prinzip der Fluoreszenz nutzen. Andererseits besitzen diese Moleküle auch funktionelle Gruppen, die für die Haftung an der Faser verantwortlich sind und so das Verbleiben auf der Wäsche ermöglichen. Sie haben daher genau genommen keinen Einfluss auf die Waschwirkung, sondern fungieren einzig allein als Weißmacher bzw. Weißtöner [2, S.137-139; 3, S.73].

4.6 Stabilisatoren

Unter Stabilisatoren versteht man auch Komplexbildner, da sie überwiegend Schwermetallionen binden und somit zur Stabilisierung der Bleichmittel und Enzyme beitragen. Denn Schwermetallionen wie Eisen-, Kupfer- und Manganionen können durch die katalytische Zersetzung des gebildeten Wasserstoffperoxids in der Waschlauge die Bleichwirkung herabsetzen. Zur Eliminierung dieser Schwermetalle reichen Gerüstsubstanzen wie Zeolith A nicht aus, man benötigt daher noch zusätzliche Komplexbildner, die selektiv diese Ionen binden können. Man setzt dazu in erster Linie Phosphonate ein, die Salze der Phosphonsäuren. Sie übernehmen ähnliche Aufgaben wie die Polycarboxylate indem sie dem Kalkkristallwachstum entgegenwirken, Wäscheinkrustationen verhindern und bleichbare Flecken entfernen. Jedoch sind diese Phosphonate relativ schwer biologisch abbaubar, weshalb sie in sehr geringen Mengen verwendet werden und weiterhin intensiv nach Ersatzstoffen geforscht wird. Derzeit gibt es sehr wohl einige Komplexbildner wie z.B. Methylglycindiessigsäure-Trinatriumsalz (MGDA), Tetranatriumglutamatdiacetat (GLDA), etc. die die Phosphonate teilweise ersetzen bzw. in Kombination mit Soda, Silicaten und Polycarboxylaten auch direkt als Komplexbildner verwendet werden können [2, S.139-141]. Folgende Säuren werden in Form von Natriumsalzen verwendet:

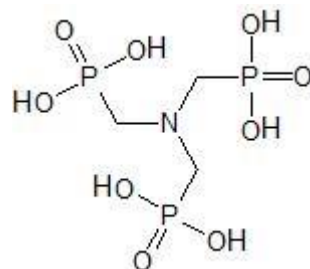


Abbildung 14: Beispiel eines Phosphonates: Aminotrimethylen-trisphosphorsäure (ATMP) [2, S.140].

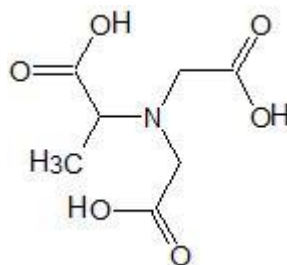


Abbildung 15: Methylglycindiessigsäure - Trinatriumsalz (MGDA) [2, S.141].

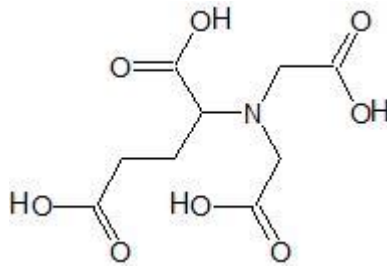


Abbildung 16: Tetranatriumglutamatdiacetat (GLDA) [2, S.141].

4.7 Schaumregulatoren

Ein stark ausgeprägtes Schaumverhalten kann den Waschprozess deutlich einschränken, da die mechanische Bewegung der Waschtrommel dadurch behindert wird und somit die reinigende Wirkung verloren geht. Da vor allem gewisse Tenside relativ viel schäumen, muss man den Waschmitteln sogenannte Schauminhibitoren bzw. Schaumregulatoren zusetzen. Sie verteilen sich auf der Schaumlamelle und lagern sich zwischen den Tensidmolekülen an und verhindern so den Zusammenhalt der Tenside innerhalb der Lamelle. Aus diesem Grund platzen die Schaumblasen. Ein klassischer Schauminhibitor ist die Seife, die allerdings nicht direkt als Inhibitor wirkt, sondern die mittels Calciumionen gebildete unlösliche Kalkseife. In weichem Wasser kann dies allerdings zu Problemen führen, deshalb werden meistens spezielle Siliconöle oder Paraffinöle als Schauminhibitoren eingesetzt [2, S.141-142; 3, S.71].

4.8 Sonstige Inhaltsstoffe

4.8.1 Korrosionsinhibitoren

Auch wenn heutzutage fast alle korrosionsanfälligen Teile der modernen Waschmaschinen aus Edelstahl bestehen, werden dennoch Korrosionsinhibitoren dem Waschmittel zugesetzt. Bei Aluminiumteilen einer Waschmaschine kann es nämlich zu unerwünschten Korrosionsschäden führen. Man versucht deshalb mittels Zugabe von Wasserglas oder festem Natriumdisilicat die Korrosion von Metall zu verhindern. Der Vorgang funktioniert so, dass das Silicat eine Schutzschicht auf dem Aluminium bildet, die vor Angriffen von Hydroxyl-Ionen schützt. Eine weitere Eigenschaft ist, dass Natriumsilicat Metalloberflächen gut reinigen und auch den Waschvorgang mit Hilfe der hohen Alkalität unterstützen kann. Da Silicate grundsätzlich schon als Enthärterbestandteile im Waschmittel enthalten sind, müssen sie nicht unbedingt nochmals hinzugefügt werden [2, S.142; 3, S.74].

4.8.2 Duftstoffe

Duftstoffe sind modische Zusätze, die einen endgültigen Waschmittelkauf sehr beeinflussen können. Sie überdecken den unangenehmen Geruch der Waschlauge und verleihen dabei der Wäsche einen angenehmen frischen Duft. Die Zusammensetzung solcher Waschmittelparfüms ist sehr komplex und bleibt innerhalb des Unternehmens gut behütet. Seit einigen Jahren existieren Duftstoffkapseln, die noch Tage nach dem Waschprozess auf der Kleidung verbleiben. Solche Kapseln können je nach Anwendung gestaltet und manipuliert werden, sodass sich die Duftstoffe zum richtigen Zeitpunkt entfalten können. So gibt es mittlerweile schon Variationen von unterschiedlich gebauten Kapseln [2, S.143; 3, S.74].

4.8.3 Farbstoffe

Farbstoffe haben für den Waschprozess keinerlei Einfluss und dienen hauptsächlich dekorativen Zwecken, um das Produkt für den Verbraucher attraktiv zu machen. Es ist erwiesen, dass die Waschmittelfarbe den Wiedererkennungseffekt verstärkt und die meisten Verbraucher eine gewisse Duftnote damit assoziieren. Farbstoffe kommen vor allem in flüssigen Waschmitteln vor, um die Eigenfarbe der Waschmittelkomponenten zu überdecken und so das Produkt ansprechend zu machen [2, S.144-145].

4.8.4 Füllstoffe

Für flüssige Waschmittel sind zusätzlich noch Lösungsmittel in Form von Alkoholen notwendig. Sie dienen der besseren Löslichkeit beim Einspülvorgang und unterstützen das Schmutzablösen der Tenside. Außerdem können sie höher konzentriert auch konservierende und stabilisierende Eigenschaften übernehmen. Aber auch Lösungsvermittler wirken ähnlich und werden oft zusätzlich als Waschlhilfen in flüssigen Waschmitteln verwendet.

In pulverförmigen Waschmitteln wird als Füllstoff Natriumsulfat (Na_2SO_4) eingesetzt. Grundsätzlich gewährleistet Natriumsulfat eine gute Riesel- und Lagerfähigkeit. Es ist leicht zu dosieren und wird besonders für zeolithfreie Enthärterssysteme benötigt [2, S.145-146].

5. Bleichen – Bleichmittel

Generell versteht man unter Bleichen einen Vorgang, der unerwünschte Farbveränderungen eines Körpers entfernt bzw. in hellere Farben hin abschwächt. Durch die unterschiedlichen farbigen Verschmutzungen, die einerseits gefärbte Pigmente, Ölschmutzungen sowie Faservergilbungen sein können, laufen während eines Waschprozesses verschiedene Bleichwege ab. Hartnäckige Flecken, die nicht mehr mit Tensiden oder Enzymen entfernt werden können, müssen dann mit chemischen Bleichmitteln behandelt werden. Zu solchen farbigen Flecken zählen z.B. carotinoide Farbstoffe aus Karotten und Tomaten, Chlorophyll, Curcumafarbstoffe in Senf und Curry sowie rote und blaue Anthocyanfarbstoffe in Obst und Rotwein. Auf die chemischen Strukturen dieser farbigen Flecken wird im Kapitel 6 näher eingegangen. Es handelt sich dabei um farbgebende Verbindungen, die ein ausgedehntes konjugiertes π -Elektronensystem besitzen.

In den letzten Jahren hat sich die oxidative Bleiche durchgesetzt, die es ermöglicht die Farbstoffstruktur mittels starken Oxidationsmitteln zu zerstören. Man unterscheidet zwischen zwei Formen der oxidativen Bleiche: die Sauerstoffbleiche – zuerst Natriumperborat, heutzutage Natriumpercarbonat und die Chlorbleiche mit Natriumhypochlorit. In Europa wird hauptsächlich die Sauerstoffbleiche eingesetzt, hingegen in Japan, Nord- und Südamerika werden auf Grund der niedrigen Waschttemperaturen Bleichmittel auf Chlorbasis verwendet [2, S.115-117; 3, S.67-69].

5.1 Sauerstoffbleiche

5.1.1 Natriumperborat

Die Eigenschaft, dass Natriumperborat in Wasser gelöst Wasserstoffperoxid freisetzt, wurde erstmals 1898 entdeckt. Den ersten Einsatz in Waschmittel bekam Natriumperborat 1907 und war dementsprechend namensgebend für das erste Waschmittel Persil. Es handelt sich um ein schnell auflösendes Natriumperboratmonohydrat, das durch die kristalline Struktur eine gute Lagerstabilität garantierte und somit eine direkte Einarbeitung in das Waschmittel ermöglichte. In wässrigem Medium zerfällt Natriumperborat in Wasserstoffperoxid und Natriumborat. Das Wasserstoffperoxid ist für die Bleiche verantwortlich, da es die Eigenschaft hat aktiv Sauerstoff freizusetzen. Es kommt jedoch beim Waschen leider auch zur Freisetzung von Borsalzen in das Abwasser. Es wurden daher in den letzten Jahren die Anforderungen der europäischen Chemikaliengesetzgebung (REACH) verschärft, sodass das borhaltige Salz immer mehr durch Natriumpercarbonat ersetzt wurde. REACH stufte die Borsäuresalze als reproduktionstoxisch

der Kategorie 2 ein. Die Verwendung von Natriumperborat nahm danach zunehmend ab und seit 2004 wird es in Europa immer weniger in den Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzt. ECHA, die Agentur der Europäischen Union, hat am 16. Juni 2014 das Perborat auf die Kandidatenliste der zulassungspflichtigen Stoffe gesetzt [2, S.117, 289; 11; 12; 13].

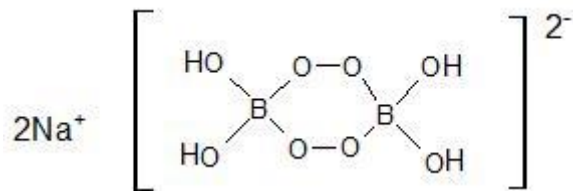
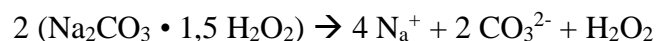


Abbildung 17: Natriumperborat [3, S.67-69].

5.1.2 Natriumpercarbonat

Natriumpercarbonat ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}_2$) ist der Nachfolger des Perborates und hat eine ähnliche Bleichwirkung. Man spricht aber von einem ökologischen und unbedenklicheren Stoff als das Natriumperborat, da es kein Bor enthält. Während Perborat ein Persalz ist, ist das Percarbonat genau genommen ein Peroxyhydrat, da es sich um eine Anlagerungsverbindung von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) an Natriumcarbonat (Na_2CO_3) handelt. Bei Wärmeeinwirkung in Wasser zerfällt das Natriumpercarbonat in Natriumcarbonat und Wasserstoffperoxid, das weiter zu Wasser und aktivem Sauerstoff zerfällt. Das entstandene Natriumcarbonat bzw. Soda fungiert zusätzlich auch als Enthärter und Alkaliträger. Im Folgenden sieht man die Bildung von Wasserstoffperoxid aus Natriumpercarbonat in wässriger Lösung:



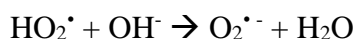
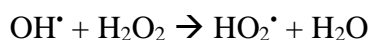
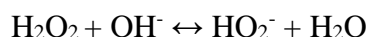
Für eine gute Lagerstabilität im Waschmittel wird das kristallisierte Natriumpercarbonat mit z.B. Natriumcarbonat, Natriumsulfat oder mit Stabilisatoren auf Silicatbasis beschichtet [2, S.117-118].

5.1.3 Wasserstoffperoxid

Der direkte Einsatz von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) in pulverförmigen Waschmitteln ist aufgrund der schlechten Lagerstabilität nur in Form von Natriumpercarbonat möglich. Seit 1997 kam es zur Einführung von flüssigen Bleichmitteln, sogenannten „flüssige Waschkraft-Booster“, die Wasserstoffperoxid enthalten. Die Stabilisierung in diesen wässrigen Produkten wird durch Komplexbildner und einem schwach sauren pH-Wert erreicht, der die Peroxidzersetzung verlangsamt. Dieser pH-Bereich schränkt jedoch den Nutzen für die Hauptwäsche sehr ein, da die Alkalität eine große Rolle für den Reinigungsprozess spielt. Es werden diese Produkte ausschließlich als Waschmitteladditive oder in Form einer Vorbehandlung verwendet [2, S.118, 156; 12, S.253-254].

5.1.4 Mechanismus der Peroxidbleiche

Der exakte Ablauf des Bleichvorgangs ist bis heute noch nicht in allen Einzelheiten geklärt, man erklärt die Bleichwirkung jedoch mit folgender chemischer Gleichung.



Wasserstoffperoxid zerfällt in Wasser und molekularen Sauerstoff. Das Postulat, dass dieser molekulare Sauerstoff im Singulettzustand für die aktive Bleiche verantwortlich ist, wurde widerlegt, da der Singulett-Sauerstoff durch die kurze Lebensdauer die farbigen Flecken nicht erreicht und so kein Ausbleichen bewirkt werden kann.

Daher gelten die Radikalarten, wie Perhydroxylradikal (HO_2^\bullet) und der dazugehörige reaktive Sauerstoff ($\text{O}_2^{\bullet -}$), die sich während des Abbaus von Wasserstoffperoxid bilden, als bleichende Substanzen. Das sogenannte Superoxid ($\text{O}_2^{\bullet -}$) ist heute die allgemein anerkannte aktive Bleichspezies, welche einen nucleophilen Angriff auf elektrophile Zentren wie Alkengruppen gewährleistet. Durch die partielle Oxidation entsteht vorerst ein Epoxid, welches dann in weiterer Folge Hydroxyverbindungen und andere Oxidationsprodukte bilden kann (Abbildung 18). Die beim Bleichvorgang entstandenen farblosen und wasserlöslichen Farbstofffragmente

sind dann optisch nicht mehr aktiv und können aus dem Textilgewebe ausgewaschen werden [2, S.118-119; 12, S.254].

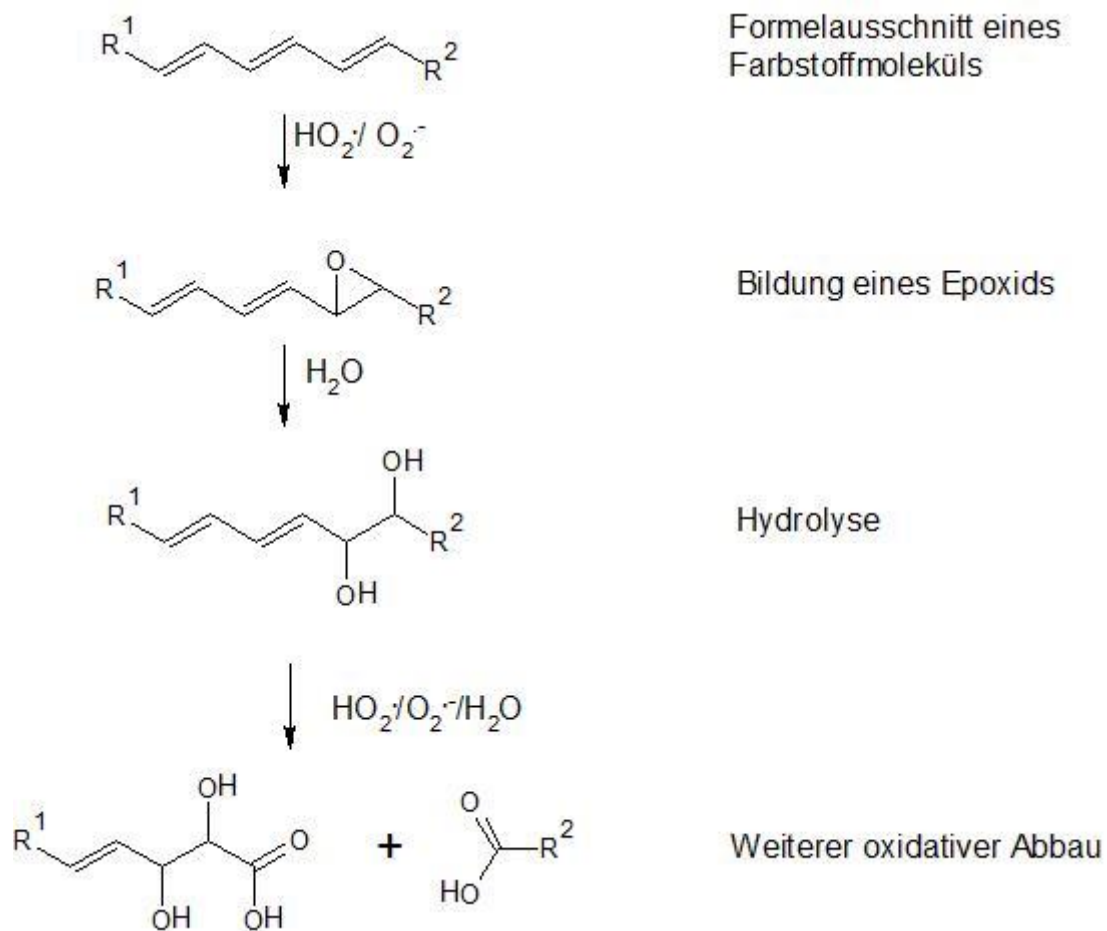


Abbildung 18: Möglicher Bleichvorgang auf Sauerstoffbasis [2, S.119].

5.1.5 Einschränkungen der Peroxidbleiche

Obwohl die Peroxidbleiche eine sehr kostengünstige, sichere und umweltfreundliche Bleiche darstellt, hat sie einen großen Nachteil in der heutigen Waschanwendung, nämlich die reduzierte Wirksamkeit bei niedrigen Temperaturen. In Europa haben sich seit den 1970er Jahren Waschttemperaturen um die 40-60°C eingependelt, die zu einem wesentlichen Teil zur Energieeinsparung beitragen. Außerdem erweisen sich hohe Waschttemperaturen nicht so günstig für die immer mehr aus synthetischen Fasern verwendeten Textilien, die sehr temperaturempfindlich sind.

Damit nun die Sauerstoffbleiche basierend auf Wasserstoffperoxid unter europäischen Bedingungen erfolgreich ist, benötigt man zusätzlich noch Substanzen, die die Leistung steigern können, da die Bleichwirkung bei Temperaturen unter 60°C sehr gering ist.

Erklärt wird die Leistung der Sauerstoffbleiche unter der Annahme, dass sowohl Bleichmittel als auch Substrat in einer Lösung ohne Tenside vorliegen, sodass eine Reaktion zweiter Ordnung angenommen wird. Dabei kann die Bleichgeschwindigkeit mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$\text{Rate} = k [\text{Oxidationsmittel}][\text{Fleck}]$$

k stellt in diesem Fall die Geschwindigkeitskonstante der Arrhenius Gleichung dar.

$$k = A \cdot e^{\frac{-E}{R \cdot T}}$$

A ... Arrheniuskonstante

R ... Gaskonstante

E ... Aktivierungsenergie

T ... Temperatur

In der Geschwindigkeitsgleichung (Rate-Gleichung) wird die Abhängigkeit der Konzentration von Oxidationsmittel und Fleck für die Bleichgeschwindigkeit (Rate) gezeigt. Daher - je höher die Konzentration von Oxidationsmittel und/oder Fleck, desto besser reagieren diese mit der korrekten Energie miteinander und dementsprechend hoch ist die Geschwindigkeit und Umsetzung dieser Reaktion. Würde man die Verdünnung erhöhen, so würde daraus folgen, dass die Reaktionsgeschwindigkeit abnimmt.

Nach der Arrhenius-Gleichung kann man ableiten, dass sich die Geschwindigkeit mit abnehmender Temperatur verlangsamt. Das stellt das Hauptproblem bei der Verwendung von Bleichmitteln auf Sauerstoffbasis dar. Man kann dem durch eine Erhöhung des Percarbonatanteils in der Waschmittelrezeptur dagegenwirken, doch dies zieht preisliche als auch platztechnische Nachteile mit sich. Eine gute Option ist daher die Reduzierung der Aktivierungsenergie, damit man die Geschwindigkeit konstant erhöht. Dies erfordert den Einsatz von stärkeren Oxidationsmitteln, die man durch die Verwendung von Bleichaktivatoren und Bleichkatalysatoren erreicht [2, S.118-120; 12, S.254-255].

5.1.6 Bleichaktivatoren

Bleichaktivatoren sind im wesentlichen Acylierungsmittel und besitzen Acylreste. Normalerweise handelt es sich um Ester oder Imide, wie zum Beispiel Tetraacetythyldiamin (TAED) oder Natrium-p-nonanoyloxybenzolsulfonat (NOBS). Zum wichtigsten Bleichaktivator in Europa zählt das TAED, das seit Anfang der Achtziger Jahre in den modernen Waschmitteln enthalten ist. Das TAED-Molekül ist elektrisch neutral, hat jedoch aufgrund der beiden Imidstrukturen einen polaren Charakter. Es wirkt als Acylierungsmittel indem es zwei Acetylgruppen übertragen kann. Bei der Sauerstoffbleiche handelt es sich um eine sehr komplexe chemische Reaktion, die aus zwei Teilschritten besteht. Zuerst kommt es zur Perhydrolyse, in der das TAED mit dem Wasserstoffperoxid, aus Perborat oder Percarbonat reagiert. Dabei werden zwei Moleküle der Peressigsäure bzw. Peracetatanion und das leicht biologisch abbaubare Diacetythyldiamin (DAED) durch den nucleophilen Angriff des Perhydroxidations (HOO^-) an die instabile Imidbindung des TAED-Moleküls freigesetzt (Abbildung 19). Diese Reaktion findet unabhängig von der Temperatur innerhalb weniger Minuten in einem pH-Bereich von 10 und 11 statt. Die entstandenen Peressigsäuren bzw. Peracetatanionen sind dann bessere Bleichmittel als Wasserstoffperoxid und können schon bei Temperaturen ab 40°C ihre Bleichwirkung entfalten. Nach der Perhydrolyse erfolgt der zweite Schritt nämlich der eigentliche Bleichprozess indem das Sauerstoffatom der Persäure auf das zu bleichende Substrat übertragen wird (Abbildung 18).

Ein ähnlicher Bleichaktivator ist das NOBS, das überwiegend in den USA und Japan anstatt TAED aufgrund der unterschiedlichen Waschgewohnheiten in diesen Ländern eingesetzt wird. Unter alkalischen Bedingungen reagiert NOBS mit Wasserstoffperoxid und bildet dabei ein Pernonansäureanion aus, das eine ähnliche Bleichwirkung besitzt wie das Peracetatanion (Abbildung 20) [2, S.120-122; 11, S.9-19; 12, S.255-257].

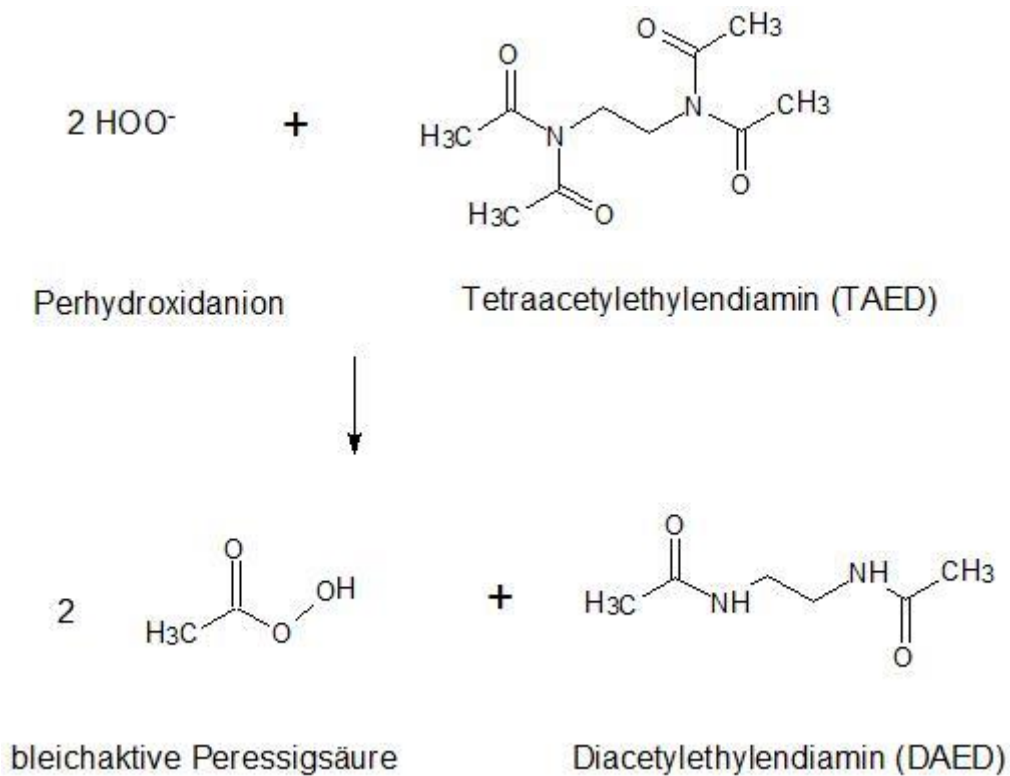


Abbildung 19: Wirkung von TAED und Bildung von Peressigsäure [2, S.121].

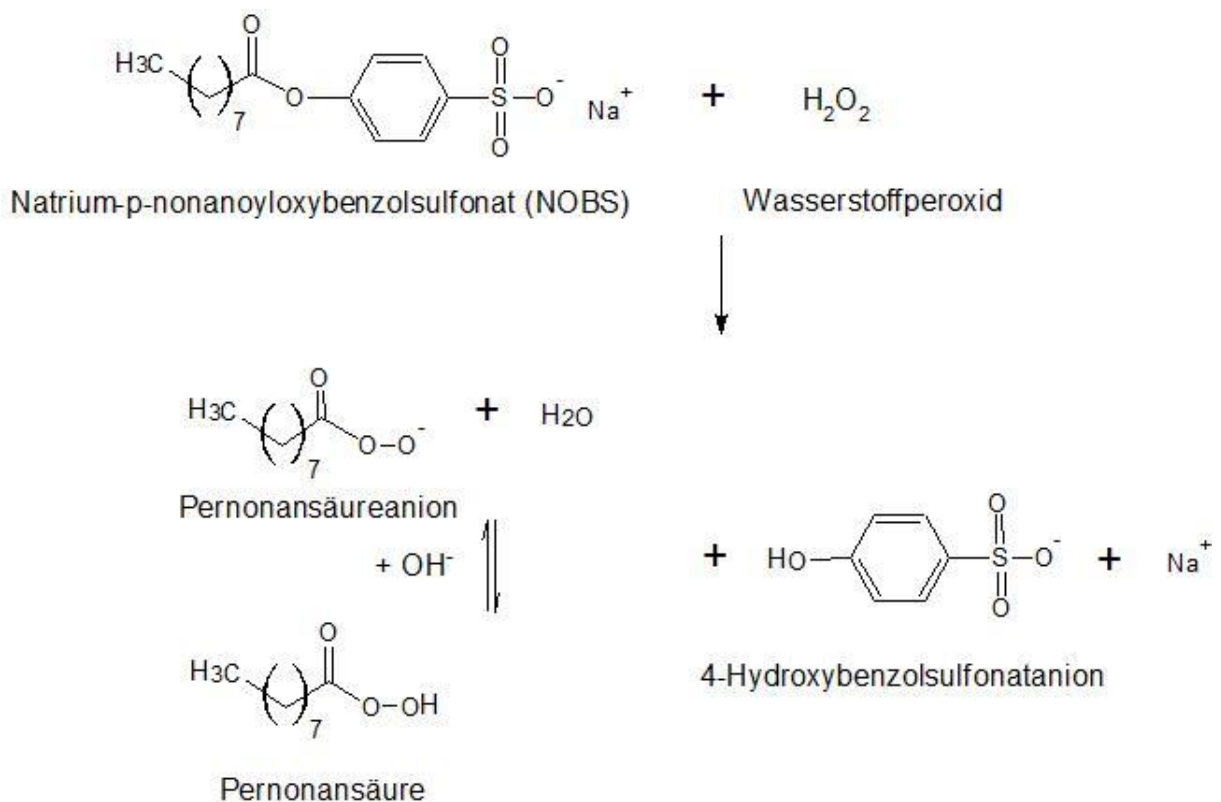


Abbildung 20: Bildung von Pernonansäure aus Natrium-p-nonyloxybenzolsulfonat (NOBS) [2, S.122].

5.1.7 Bleichkatalysatoren

Eine Alternative zu den Bleichaktivatoren stellen die Bleichkatalysatoren dar, die die Effektivität der Sauerstoffbleiche ebenfalls steigern können. Sie können schon in geringen Mengen katalytisch Sauerstoff übertragen und ziehen daher sowohl preisliche als auch platztechnische Vorteile mit sich. Es wird angenommen, dass Bleichkatalysatoren besonders bei tieferen Temperaturen die Oxidationswirkung durch die Reaktion mit dem Perhydroxidion (HOO^-) zu einem Peroxokomplex verstärken können. In diesem Prozess bilden sich jedoch keine Radikale. In phosphathaltigen Waschmitteln erzielen die Bleichkatalysatoren vergleichbare Leistungen wie TAED, hingegen in phosphatfreien können sie diese sogar übertreffen. Verwendet wurden anfänglich spezielle Mangan- und Cobaltverbindungen. 1994 kamen die Bleichkatalysatoren zum ersten Mal zum Einsatz, es handelte sich dabei um Komplexe auf Dimangan-Basis (Mn-TACN). Sie lieferten eine hervorragende Bleichleistung bei gleichzeitig sehr geringer Dosierung, jedoch ging dies mit deutlichen Wäscheschäden einher, da die Bleichkatalysatoren zwischen Verschmutzung und Farbstoff nicht gut unterscheiden können. Aus diesem Grund wurden sie 1995 durch die gravierenden Gewebsschäden wieder vom Markt genommen. Die Forschung nach einem kommerziellen akzeptablen Produkt wurde daher weiter verfolgt. Ein großer Fortschritt gelang dann durch die Herstellung von metallfreien Katalysatoren, wie Acylhydrazon, die ebenfalls bei niedrigen Temperaturen ihre Bleichwirkung entfalten können und keine Schädigung der Wäsche verursachen. Diese Art der Bleichkatalysatoren wird seit 2015 in den Waschmitteln verwendet [2, S.122-123; 12, S.259-260].

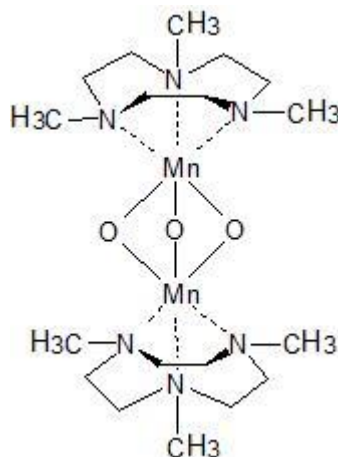


Abbildung 21: Mn-TACN: 1,4,7 - Trimethyl - 1,4,7 - triazacyclononan - Mangan(IV) – Komplex [2, S.123].

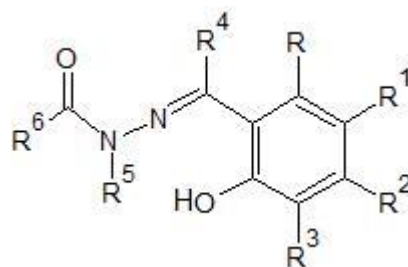


Abbildung 22: Acylhydrazone [2, S.123].

5.1.8 Einflüsse auf das Bleichergebnis

Generell ist das Bleichergebnis abhängig von der Art des Fleckes, sodass insbesondere hydrophile Flecken wie Kaffee, Tee oder Rotwein hervorragend beseitigt werden können. Hingegen sind hydrophobe Flecken wie Gewürze, Gras oder Säfte schwieriger zu oxidieren, da sie lange konjugierte Kohlenwasserstoffketten (z.B.: Carotinoide) oder Porphyrinsysteme besitzen.

Aber auch die Zeit und die Temperatur spielen neben der Art der Verschmutzung eine wichtige Rolle für den Bleicheffekt. Entscheidend ist aber auch die verwendete Konzentration der bleichenden Substanzen, die schon im Waschmittel vorgefertigt dosiert sind. Eine weitere Komponente ist die pH-Abhängigkeit des Bleichens, sodass hydrophile Flecken sehr gut in einem pH-Bereich von 8-10 entfernt werden können. Im Gegensatz dazu sind hydrophobe Flecken allgemein schwieriger zu bleichen, man benötigt noch zusätzlich Unterstützung von geeigneten Enzymen, Tensiden oder einen pH-Wert von 9,5-10,5. Um nun sowohl hydrophile als auch hydrophobe Verschmutzungen effektiv zu entfernen, sollte der pH-Wert zwischen 9-9,5 liegen. Der pH-Wert hat somit einen wesentlichen Einfluss auf das Bleichergebnis, denn zu Beginn des Waschprozesses sollte der pH-Wert bei 10,5 liegen, damit eine vollständige und schnelle Umsetzung der Persäure gewährleistet wird. Anschließend sollte der pH-Wert unter 10 abfallen, damit die Bleichfähigkeit aller Flecken gefördert wird. Dieser Vorgang passiert z.B. bei der Verwendung von Bleichaktivatoren automatisch indem sich die Peressigsäure in Essigsäure umwandelt oder es wird durch Zugabe von anderen Säureverbindungen, wie Citronensäure oder Natriumhydrogencarbonat nachgeholfen [11, S.17-19].

5.2 Chlorbleiche

In Nord- und Südamerika, Japan und Teilen Südeuropas sind die Waschbedingungen im Vergleich zu Europa sehr unterschiedlich. Neben kürzeren Waschzeiten, großen Wassermengen und schwacher Mechanik werden im Durchschnitt Temperaturen um die 10-30°C verwendet. Als Bleichmittel in diesen Ländern wird in der Regel Natriumhypochlorit (NaOCl) eingesetzt, da es ein starkes Oxidationsmittel ist und schon bei Temperaturen ab 15°C wirksam sein kann. Da Lösungen von Natriumhypochlorit sich nicht gut mit anderen Waschmittelinhaltsstoffen vertragen, muss das Bleichmittel getrennt hinzugefügt werden. In diesem Fall ist eine starke alkalische Lösung notwendig um eine ausreichende Stabilisierung der Bleichmittellösung zu erreichen. Außerdem zählt die hypochlorige Säure (HOCl) zu den schwachen Säuren, die instabil ist und bei Ansäuerung unterhalb eines pH-Wertes von 5 in Chlorgas zerfällt. Es soll daher ein Kontakt mit anderen Säuren strikt vermieden werden [2, S.117, 119-121; 11, S.10].

5.2.1 Mechanismus der Chlorbleiche

Der Bleichvorgang mit Natriumhypochlorit basiert ebenfalls auf Sättigung oder Zerstörung von Doppelbindungen. Man unterscheidet zwischen drei unterschiedlichen aktiven Teilchen im Bleichprozess: 1. die hypochlorige Säure (HOCl) im pH-Bereich von 5-9, mit welcher die effektivste Bleichwirkung erzielt werden kann. 2. das Hypochloritanion (ClO^-) im pH-Bereich oberhalb von 9, wobei der Bleichvorgang aufgrund der alkalischen Bedingungen deutlich langsamer von statten geht und als letzte Möglichkeit gilt der gebildete aktive Sauerstoff, der durch den Zerfall der hypochlorigen Säure zum Bleichvorgang beitragen kann. Der Bleichprozess findet entweder unter Ausbildung eines Chlorhydrins oder eines Halogenides statt. Aber auch eine Oxidation durch eine elektrophile Substitution an ein Carboxyl-Chromophor ist möglich [2, S.119-120; 14, S.123-124].

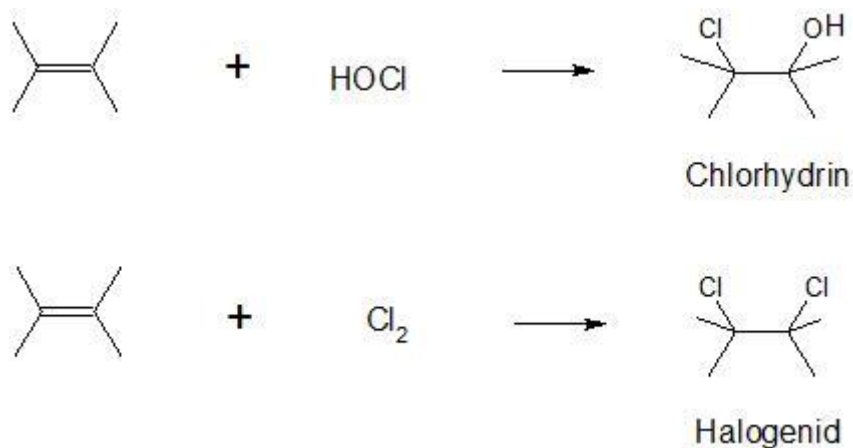


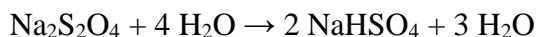
Abbildung 23: Mechanismus der Chlorbleiche [14, S.123].

5.2.2 Nachteile der Chlorbleiche

Das Bleichen auf Chlorbasis hat zwar den großen Vorteil temperaturunabhängig zu sein und zusätzlich eine hohe Bleichwirkung zu erreichen, doch auf der anderen Seite ist der Einsatz auch mit vielen Nachteilen behaftet. Einer davon ist das Auftreten von Abwasserproblemen und Umweltbelastungen, sodass in vielen Ländern die Verwendung der Chlorbleiche verboten wurde. Außerdem erweist sich das Natriumhypochlorit nicht so optimal als Waschmittelinhaltsstoff, da es in pulverförmigen Waschmitteln nicht integriert werden kann und nur als Flüssigkeit Verwendung findet. Ein weiterer Nachteil ist der bemerkbare Wäscheschaden bei bereits leichten Überdosierungen und einem niedrigen pH-Wert. Darüber hinaus sind viele Textilfärbungen nicht ausreichend stabil gegenüber dem Hypochlorit [3, S.69; 14, S.123].

5.3 Reduktive Bleiche

Viele farbgebende Strukturen können zu farblosen Verbindungen mittels Reduktionsmittel reduziert werden. Jedoch bei Einwirkung von Luft oder Sonnenlicht kann die farblose reduzierte Verbindung wieder oxidiert werden, sodass es zu einem Gelbstich der Wäsche kommen kann. Ein Reduktionsmittel wäre Natriumdithionit, das in trockener und kühler Umgebung relativ stabil ist und in wässriger Lösung zum Reduktionsmittel Natriumbisulfat reagiert.



Laut Clark erhält man das beste Bleichergebnis bei Temperaturen ab 50°C und einem pH-Wert von 7. Vor allem tierische Fasern, Wolle und Seide können von Natriumdithionit in Abwesenheit von Metallen gebleicht werden. Fraglich ist natürlich die Sinnhaftigkeit Wolle und Seide bei so hohen Temperaturen zu waschen. Falls Eisen- oder Kupfersalze vorhanden sind, werden sie zu ihren jeweiligen Sulfiden reduziert, was eine graue Verfärbung der Wäsche verursacht, die schwer zu entfernen ist [14, S.122].

5.4 Zusätzliche Vorteile im Bleichprozess

Durch die starke oxidierende Wirkung der Bleichmittel können Bakterien und andere Mikroorganismen abgetötet werden, die für die Entstehung von Schweiß und unangenehmen Gerüchen verantwortlich sind. Früher wurden diese durch die Hitze des kochenden Wassers vollständig zerstört, heute erledigen das Bleichsysteme in den modernen Waschmitteln bei viel niedrigeren Temperaturen (ca. 40°C). Die antibakterielle Wirkung von Peressigsäure und auch von Wasserstoffperoxid aus Perborat oder Percarbonat ist schon einige Zeit bekannt. Während Wasserstoffperoxid insbesondere antiseptisch und bakteriostatisch wirkt, besitzt die Peressigsäure bakterizide, virizide und fungizide Eigenschaften. Im besten Fall ergänzen sich die beiden Substanzen. Durch die Zugabe von Bleichkatalysatoren kann die Aktivität bei Temperaturen unter 40°C und den relativ kurzen Waschzeiten nochmals gesteigert werden. Neben dem desinfizierenden Effekt sind die Bleichsysteme in der Lage Gerüche wie z.B. Schweiß zu beseitigen, was eine besondere Rolle bei parfümfreien Waschmitteln spielt [11, S.21-22].

6. Farbige Flecken

6.1 Farbigkeit

Verantwortlich für die Farbigkeit ist die Absorption einer chemischen Verbindung von sichtbarem Licht. Als sichtbaren Bereich bezeichnet man elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von etwa 400 bis 780 nm. Die Wellenlänge (λ) ist umgekehrt proportional zur Energie, daher je kürzer die Wellenlänge, desto höher die Energie. Moleküle im Grundzustand haben alle Elektronen in den jeweiligen Orbitalen mit den niedrigsten potenziellen Energien. Wird Licht mit einer bestimmten Energie (Wellenlänge) von einem Molekül absorbiert, so können die Elektronen in ein energetisch höheres Orbital überführt werden. Danach befindet sich das Molekül in einem angeregten Zustand. Der Molekülteil, der diese angeregten Elektronen besitzt, wird als Chromophor (Farbträger) bezeichnet. Diese Teilstrukturen sind für das Auftreten von Absorptionsmaxima (λ_{max}) verantwortlich. Liegen diese Absorptionsmaxima im sichtbaren Bereich, so erscheint die Verbindung farbig [15, S.512-519; 16, S.522-523; 17, S.396].

Es gibt zwei Arten von Übergängen die in der Lage sind UV/Vis- Spektren (ultraviolett/visible) zu erzeugen. Einerseits der Übergang eines nichtbindenden Elektrons (n) in ein antibindendes π^* -Molekülorbital (MO), einem $n \rightarrow \pi^*$ -Übergang. Andererseits einem $\pi \rightarrow \pi^*$ - Übergang, der mehr Energie benötigt, da ein Elektron aus einem bindenden π -MO in ein antibindendes π^* -MO überführt wird. Dies zeigt, dass nur organische Verbindungen mit π -Elektronen UV/Vis-Spektren erzeugen können.

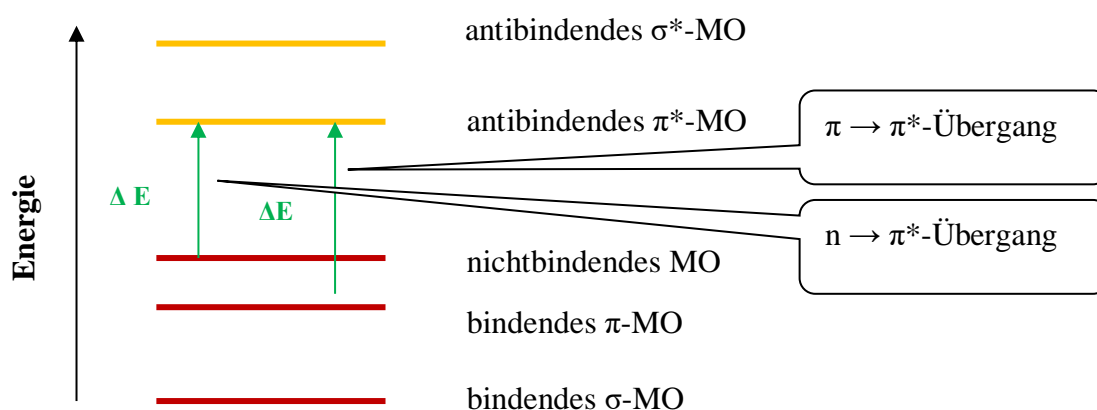


Abbildung 24: Elektronenübergänge [15, S.513].

Je mehr konjugierte Doppelbindungen in einem Molekülsystem vorhanden sind, desto länger ist die Wellenlänge des Lichtes und dementsprechend niedriger die Energie, die für die Anregung der $n \rightarrow \pi^*$ - und $\pi \rightarrow \pi^*$ -Übergänge benötigt wird. Besitzt ein Molekül genügend konjugierte Doppelbindungen, so absorbiert es im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Strahlungsspektrums und erscheint farbig. Liegt das Absorptionsspektrum der organischen Verbindung nicht im sichtbaren Bereich so kann man mit gewissen funktionellen Gruppen z.B. OH- bzw. NH_2 -Gruppen das Absorptionsmaximum verschieben. Man nennt solche „farbhelfenden“ Substituenten Auxochrome.

Generell besteht weißes Licht aus allen möglichen Wellenlängen des sichtbaren Spektrums. Wird nun eine Wellenlänge aus dem weißen Licht herausgefiltert, so ergibt das Gemisch aus den verbliebenen Lichtwellenlängen einen Farbton.

Daher hängt die Farbe von der Wellenlänge der absorbierten Strahlung ab. Die nichtabsorbierten Wellenlängen werden vom menschlichen Auge als eine bestimmte Farbe wahrgenommen. Es handelt sich dabei um die Komplementärfarbe des absorbierten Lichts. Wenn dem Auge zum Beispiel die Verbindung orange erscheint, so wird blaues Licht (380-500nm) vom Chromophor absorbiert, wie man Tabelle 7 entnehmen kann [15, S.512-519].

Tabelle 7: Zusammenhang zwischen absorbierter und beobachteter Farbe [15, S.518].

Absorbierte Farbe	Beobachtete Farbe	Absorbierte Wellenlänge [nm]
Blau-Violett	Gelb	380-460
Blau	Orange	380-500
Blau-Grün	Rot	440-560
Grün	Purpur	480-610
Orange	Blau	540-650
Purpur	Grün	380-420 und 610-700

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Grund für die Farbigkeit, die beweglichen Elektronen in einer chemischen Verbindung sind, die leicht in ein höheres Energieniveau überführt werden können. Dafür benötigt man konjugierte Doppelbindungen oder freie Elektronenpaare. Umso ausgedehnter dabei ein π -Elektronensystem mit konjugierten Doppelbindungen ist, desto geringer ist die benötigte Anregungsenergie für das Erreichen eines höheren Energieniveaus [18].

6.2 Farbmittel

Farbmittel ist der Sammelbegriff für alle farbgebenden Stoffe, die einerseits in Pigmente und andererseits in Farbstoffe eingeteilt werden. Beide Gruppen kommen sowohl in der Natur vor oder können synthetisch hergestellt werden. Unter Pigmenten versteht man unlösliche Farbmittel, die organisch sein können, aber überwiegend anorganisch sind. Die meisten farbigen Kosmetikprodukte enthalten Pigmente, aber auch Lacke, Druckfarben, Dispersionsfarben etc.

Farbstoffe hingegen sind im Anwendungsmedium lösliche organische Farbmittel. Sie werden häufig zum Färben und Bedrucken von Papier, Textilien, Kunststoffen etc. eingesetzt [19, S.4-7].

6.3 Farbgebende Strukturen

Farbige Verbindungen enthalten wie bereits beschrieben ein ausgedehntes System von konjugierten Doppelbindungen mit beweglichen π -Elektronen. Viele in der Natur vorkommende Farbstoffe bzw. Farbpigmente weisen daher konjugierte Doppelbindungen sowohl in aliphatischen als auch in aromatischen Systemen auf. Mit dieser charakteristischen Struktur erscheinen sie uns farbig und können daher hartnäckig haftende Flecken auf unserer Kleidung hinterlassen. Grundsätzlich unterscheidet man fünf Klassen von natürlichen Farbstoffverbindungen in Lebensmitteln: Carotinoide, Metallporphyrine, Chinone, Flavonoide und Betalanine [20, S.215].

6.3.1 Carotinoide

Zu den weit verbreitetsten in Pflanzen, Früchten und Gemüsen vorkommenden Farbmittel gehören die Carotinoide, die neben dem Chlorophyll oft als Co-Pigmente fungieren. Bei diesem Pflanzenfarbstoff handelt es sich um lipophile Verbindungen, die in organischen Lösungsmitteln löslich sind, jedoch nicht in Wasser. Ihre Farbenvielfalt reicht von gelb über orange bis rot. Allgemein sind Carotinoide aus acht Isopreneinheiten aufgebaut und werden deshalb auch als Tetraterpene bezeichnet. Sie enthalten meistens zwischen 9 bis 11 zueinander konjugierte Doppelbindungen, die meist eine trans-Konfiguration aufweisen. Am Anfang und am Ende der Kette besitzen einige Carotinoide Cyclohexanringe, sogenannte Ionon-Ringe. Anhand ihrer Struktur werden sie in Carotine, die ausschließlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind und in Xanthophylle, die Sauerstoffgruppen im Molekül tragen, eingeteilt. Die Variation der Farbe sowie weitere Differenzierungen der Carotinoide ergeben

sich durch die unterschiedliche Art und Stellung der Sauerstofffunktion im Molekül. Da Carotinoide sehr empfindlich gegenüber Sauerstoff sind, können sie oxidativ, enzymatisch oder nichtenzymatisch leicht abgebaut werden, sodass die Carotinfarbe ausbleicht.

Zum wichtigsten Vertreter der Carotinoide zählt das β -Carotin, welches z.B. in Karotten vorkommt und auch als Provitamin A bekannt ist. Das Lutein wird auch als Xanthophyll bezeichnet und kommt in grünen Blättern vor und gilt als wichtigstes Pigment für den Eidotter. Man findet Lutein aber auch in Früchten wie Bananen, Marillen, Orangen, Melonen, Ananas etc. sowie in Gemüsen wie z.B. Spinat, Kürbis und Brennesseln. Ein weiteres Carotinoid ist das Zeaxanthin, das als gelber Farbstoff überwiegend in Maiskernen vorkommt und als Neb pigment in Blüten wie z.B. Rosen, Krokus etc. sowie in Marillen, Orangen, Tomaten und Paprika gilt. Das wichtigste Pigment für Paprika ist aber das Capsanthin, welches für die rote Farbe verantwortlich ist. Auch das Lycopin erscheint als rote Farbe und kommt hauptsächlich in Tomaten vor [20, S.216-222; 21, S.269].

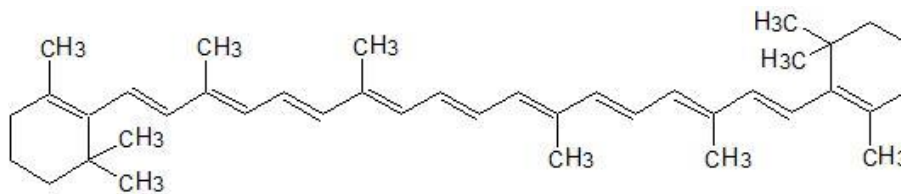


Abbildung 25: β -Carotin [20, S.217].

6.3.2 Metallporphyrin

Porphyrine sind heterocyclische Verbindungen die für die Menschheit eine große Bedeutung haben. Sie bestehen aus einem Tetrapyrrol-Ringsystem, die durch Einkohlenstoffbrücken miteinander verbunden sind. Ein bekannter Vertreter dieser Gruppe ist das Häm, das sich im Hämoglobin (roter Blutfarbstoff) und im Myoglobin (Muskelprotein) befindet. Dieser Chelatkomplex besitzt ein Eisenion (Fe^{2+}) im Zentrum, das mit den vier N-Atomen im Porphyrinsystem koordinativ gebunden ist. Dieses ausgedehnte System von konjugierten Doppelbindungen im Verbund mit dem Metallion ist der Grund für die charakteristische rote Farbe des Blutes. Chlorophyll a besitzt eine ähnliche Struktur, hat aber als Metallion ein zweiwertiges Magnesiumion (Mg^{2+}). Weiters ist einer der Pyrrolringe im Chlorophyll-Molekül partiell reduziert und trägt zusätzlich am Porphyrinringsystem einen Cyclopentanonring. Diese spezielle Struktur ist verantwortlich für die grüne Farbe der Pflanzen [15, S.870-871; 17, S.166].

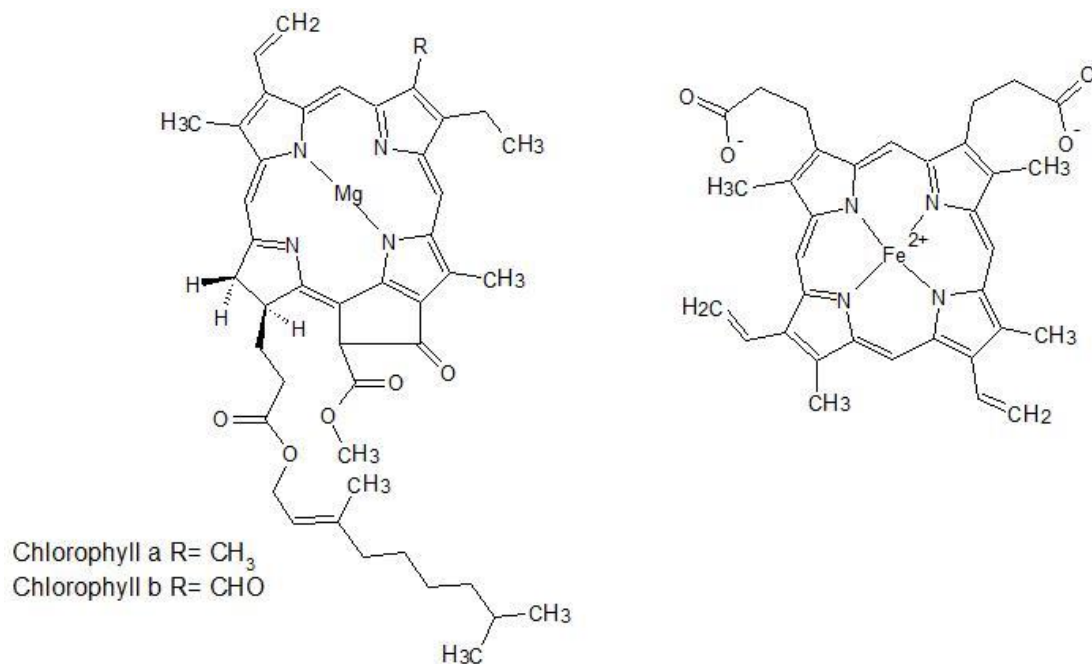


Abbildung 26: Metallporphyrine: Chlorophyll und Häm [20, S.236; 15, S.871].

6.3.3 Chinone

Chinone kommen in Pflanzen, Mikroorganismen und wirbellosen Tieren als Farbpigmente vor. Chemisch gesehen handelt es sich um ein Oxidationsprodukt von ortho- und para-Dihydroxyaromaten. Während dieses Hydrochinon farblos ist, variieren die Farben des Chinons zwischen gelb und rot. Das durch Ein-Elektronen-Oxidation oder Reduktion entstandene kurzlebige Semichinon hat langwellige Absorptionsmaxima und erscheint deshalb blau oder grün gefärbt.

Chinone können einerseits als Farbpigmente fungieren und übernehmen andererseits viele physiologische Wirkungen durch die Wechselwirkungen mit dem Redoxsystem des Organismus von Tieren und Pflanzen. Als Farbpigmente sind Chinone in Pilzen (z.B. Parasolpilze, Lärchenschwamm), Bakterien und Pflanzen (z.B. Johanniskraut, Rhabarber) vertreten [20, S.225-233].

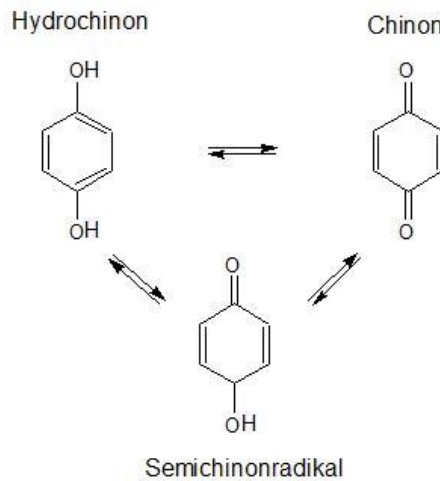


Abbildung 27: Chinone [20, S.226].

6.3.4 Flavonoide

Flavonoide gehören zur Klasse der Polyphenole und sind Derivate des Benz- γ -Pyrons oder Chromons. Die Stellung, Anzahl und Verknüpfung der Hydroxylgruppen und des Zuckeresters sowie der Redox-Zustand des γ -Pyronringes kann sehr unterschiedlich sein und unterteilt die Flavonoide in fünf Klassen: Flavone, Flavonole, Flavanone, Flavane und Anthocyanidine.

Dabei gehören die Anthocyane zu einer der wichtigsten Pflanzenfarbstoffe, die in vielen roten, violetten und blauen Blüten und Früchten zu finden sind. Dazu zählen unter anderen Kirschen, Johannisbeeren und Heidelbeeren. Rotwein hat ebenfalls seine charakteristische rote Farbe durch den Farbstoff Malvidin ($R_1=\text{OCH}_3$, $R_2=\text{OCH}_3$, $R_3=\text{OH}$), den man durch die Extraktion der Beeren bzw. blauen Weintrauben erhält.

Anthocyane haben einen Sauerstoff im C-Ring, der durch die konjugierten Doppelbindungen im Ring, dreiwertig wird und dadurch positiv geladen ist. Durch diese Struktur sind Anthocyane ähnlich wie Indikator-Farbstoffe pH-abhängig und können durch strukturelle Umlagerungen und Veränderungen des Dissoziationsgrades ihre Farbe verändern [20, S.233-234; 21, S.537, 582-585].

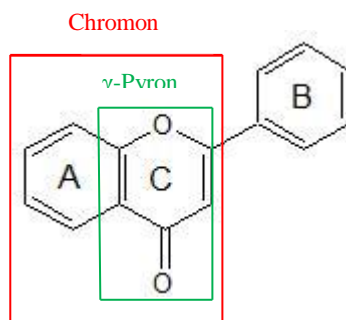


Abbildung 28: Flavon mit Chromon und γ -Pyron [21, 582-585].

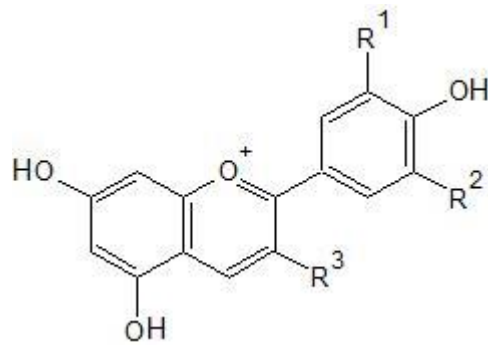


Abbildung 29: Anthocyane [21, 582-585].

6.3.5 Betalaine

Betalaine kommen als stickstoffhaltige rote oder gelbe Farbstoffe in der Natur vor. Am bekanntesten ist das rote Pigment Betanin, das in der roten Rübe enthalten ist. Weitere Vertreter von Betalaine als Farbpigmente sind viele Kakteen und Pilze (z.B. Fliegenpilz) [20, S.235-236].

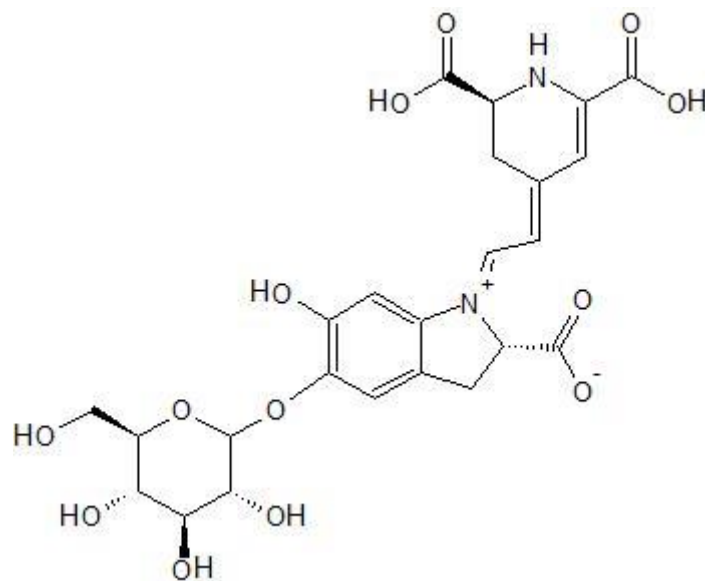


Abbildung 30: Betalaine [2, S.116].

7. Behandlung von farbigen Flecken

Die richtige Vorbehandlung, vor allem bei sehr hartnäckigen farbigen Flecken, ist das A und O für ein gutes Waschergebnis. Oft kann die Waschmaschine allein nicht alle Flecken entfernen und man ist auf zusätzliche Hilfe angewiesen. Flecken können sich mitunter ohne eine entsprechende Vorbehandlung am Textil verfestigen, sodass eingewaschene Flecken entstehen, die dann nicht mehr so einfach zu eliminieren sind. Hier ist man auf stärkere chemische Mittel angewiesen. Wichtig ist, dass man einen Fleck so schnell als möglich behandelt, damit die Chancen sich erhöhen den Fleck vollständig entfernen zu können. Sind die farbigen Flecken erst einmal eingetrocknet, wird der Entfernungsprozess deutlich erschwert. Zu beachten ist, dass der Fleck je nach Zusammensetzung sehr unterschiedlich zu behandeln ist, eine falsche Handhabung kann oft mehr Schaden anrichten. Für die Fleckenentfernung spielt auch das Material auf dem sich der Fleck befindet eine wichtige Rolle. Insbesondere bei empfindlichen Textilien muss man besonders behutsam vorgehen, um das Material nicht zu zerstören.

Im Internet existieren mittlerweile viele Foren und Internetseiten wie frag-mutti.de, muttis-haushaltstipps.de, gutefrage.net oder fleckentfernen.info etc., die Ratschläge und Haushaltstipps zu diesem Thema geben. Sie bieten Auskünfte über die schnellsten und effektivsten Methoden um Flecken mittels einfacher Hausmittel und Vorbehandlungsprodukte zu entfernen. Mittlerweile gibt es im Supermarktregal für jeden beliebigen Fleck das richtige Produkt für die Vorbehandlung bzw. für den Waschprozess.

Im Folgenden werden einige dieser Produkte vorgestellt und anschließend die besten Behandlungsmethoden für die häufigsten Flecken präsentiert. Ziel dieses Kapitels ist es, den Mythen und Haushaltstipps auf den Grund zu gehen.

7.1 Hausmittel und Vorbehandlungsprodukte

7.1.1 Gallseife

Die Gallseife wird in den meisten Internetforen als das Wundermittel schlecht hin angepriesen und kann angeblich vielseitig eingesetzt werden. Laut dieser Foren galt sie damals wie heute als eine der effektivsten Arten zur Entfernung von hartnäckigen, farbigen Flecken und wird daher oft als Haushaltsmittel vorgeschlagen.

Man erhält sie heutzutage in fester Form als Seifenstück aber auch flüssig als Fleckenspray. Ursprünglich handelte es sich dabei um ein Seifenprodukt, das durch Mischung von Rindergalle bzw. haltbaren Gallenpräparaten mit kaltgerührter Cocosfettseife entstand [22, S.545]. Die enthaltenen Gallensäuren kommen in Form von Salzen vor und sind C₂₄-Steroid-Carbonsäuren,

sogenannte Cholsäuren die mit Taurin ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{SO}_3\text{H}$) oder Glycin ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$) konjugiert sind. Diese Salze können wasserunlösliche Bestandteile emulgieren. Diese Eigenschaften erlauben, dass sie neben der Seife ebenfalls sehr gut fetthaltige Verschmutzungen beseitigen können [17, S.286]. Heutzutage wird die Gallseife nur mehr synthetisch hergestellt. Die für die folgende Versuchsreihe verwendete Gallseife als Flecken-Spray beinhaltet laut Hersteller: C13-15 Pareth¹ 7, Natriumdodecylpoly(oxyethylen)sulfat, Fettsäuren, Speisesalz, Alkohol, Glycerin, Natriumdiethylentriamin, Pentamethylenphosphonat, Natriumpolyacrylat, C12-14 Pareth-3, 2-Brom-2-Nitropropan-1,3-Diol, Dinatriumetidronat, Trinatriumdicarboxymethyl-alaninat, Methylisothiazolinon, Benzisothiazolinon.

Anhand dieser Liste an Inhaltsstoffen kann man feststellen, dass das Produkt ausschließlich aus Tensiden, Chelatbildner, Stabilisatoren und Konservierungsmitteln zusammensetzt ist und keine Bleichmittel oder Enzyme enthält [23].

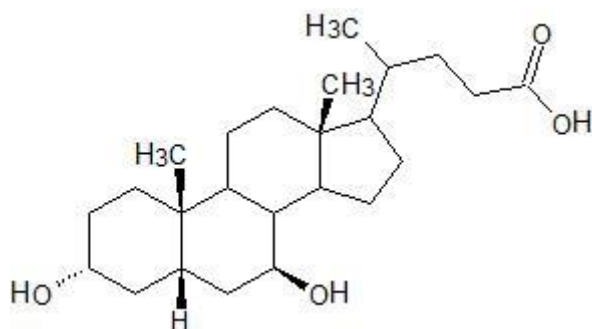


Abbildung 31: Cholsäure [17, S.286].

7.1.2 Essig

Der gewöhnliche Essig kann sehr vielseitig angewendet werden und gilt als sehr preisgünstiges Hausmittel, das aber in erster Linie als Lebensmittel zum Säuern und Konservieren von Speisen verwendet wird. Gewonnen wird Essig entweder durch die doppelte Fermentation alkoholischer oder zuckerhaltiger Flüssigkeiten (Gärungsessig) oder durch die Verdünnung geeigneter Essigsäure mit Wasser (Säureessig). Generell handelt es sich beim Essig um eine blanke Flüssigkeit, die in Österreich einen Gesamtsäuregehalt von 5-15,5 g in 100 mL beträgt, ab 15,5-25 g/100 mL wird das Produkt als Essigessenz bezeichnet. Der Gehalt an Essigsäure sowie die

¹ Als „Pareth-“ wird ein PEG-Ether eines Alkanols (Alkylalkohols) bezeichnet. Die Länge der Alkyl-(Kohlenstoff-)Ketten geben die vorangestellten Zahlen "C x-y" an. Die Zahl die sich hinter "Pareth-" befindet, gibt die durchschnittliche Anzahl der Moleküleinheiten $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-$ an [24].

restlichen Inhaltsstoffe im herkömmlichen Essig hängen stark mit dem Ausgangsmaterial und eventuellen Zusätzen zusammen. Typische Produkte bei der Fermentation sind 2-Ketogluconsäure, 5-Ketogluconsäure, Gluconsäure, Citronensäure und Aminosäuren, sowie Acetoin und 2,3-Butylenglykol. Grundsätzlich kann man den Gärungsessig je nach verwendetem Ausgangsmaterial in Weinessig, Obstweinessig, Gemüseessig, Weingeistessig oder Trester-, Bier-, Malz-, Honig-, Molkenessig u.a. einteilen [21, S.623; 25, S.4-5].

Neben dem Genuss, kann Essig im Haushalt auch andere Aufgaben übernehmen, sodass der Einsatz von Essig oft zur Reinigung von Textilien empfohlen wird. Man spricht davon, dass Essig einerseits Farben vor dem Verblassen schützt und Fussel beseitigt und andererseits als natürlicher Weichspüler eingesetzt werden kann.

Essig ist in der Lage Kalkablagerungen von der Faser der Kleidung zu lösen und bewirkt, dass die Textilien einen weichen Griff bekommen. Dazu reagiert die enthaltene Essigsäure (CH_3COOH) mit Kalk (CaCO_3) zu wasserlöslichem Calciumacetat ($(\text{CH}_3\text{COO}^-)_2\text{Ca}^{2+}$) und Kohlensäure (H_2CO_3), die anschließend zu Wasser und Kohlenstoffdioxid zerfällt. Im Folgenden ist die Reaktionsgleichung abgebildet.



[26]. Dieser Vorgang kann aber nicht mit der Wirkung eines Weichspülers verglichen werden, da die sogenannte „Trocken- bzw. Wäschestarre“ nicht mit den Kalkablagerungen zusammenhängt. Verantwortlich für den rauen Griff der Wäsche ist die mechanische Bewegung in der Waschmaschine die dazu führt, dass die Oberfläche der Baumwollfasern aufgeraut wird. Dieser Trockenstarre kann man durch eine mechanische Bewegung, nämlich durch den Einsatz eines Wäschetrockners oder durch die Windbewegungen im Freien entgegenwirken. Der Zusatz von Essig kann bei einer Handwäsche zu einem besseren Strahlen der Farben führen. Auch wenn der Säuregehalt laut Etikett bei 5% liegt, wird von den Maschinenherstellern vor der Verwendung von Essig als Weichspüler abgeraten, da es eventuell zu Angriffen auf Gummiteile der Waschmaschine kommen kann [2, S.205-206].

7.1.3 Citronensäure

Die Citronensäure, gepresster Zitronensaft oder auch eine Scheibe Zitrone sind Hausmittel die gerne zur Behandlung von Flecken empfohlen werden. Diese Methoden werden speziell zur Entfernung von Rotweinflecken, Tintenflecken, Rostflecken oder Schweißflecken, die durch aluminiumhaltige Deorückstände entstanden sind, angewendet. Es war die Rede davon, dass Citronensäure auch als Weichspüler und als Zusatz für Waschmittel eingesetzt werden kann. Diese Effekte wurden von der Stiftung Warentest getestet, jedoch das erwünschte Ergebnis von wieder weißer Wäsche blieb aus [2, S.206; 27].

Die Citronensäure spielt nicht nur im menschlichen Stoffwechsel eine wesentliche Rolle, sondern zählt auch zu einem wichtigen Produkt in der Lebensmittelindustrie. Die Anwendung ist weitreichend, sodass es nicht nur als Lebensmittel durchgeht, sondern auch in der Kosmetik, Metallurgie und Pharmazie eingesetzt wird. Erhältlich ist Citronensäure heutzutage schon in fast allen Supermärkten und Drogerien als kristalliner Feststoff. Es handelt sich um eine schwache organische Säure, einer sogenannten Carbonsäure. In Abbildung 32 ist die Strukturformel der dreibasigen Säure abgebildet, die auch den Namen 2-Hydroxy-propan-tricarbonsäure trägt. Sie kann unedle Metalle wie Magnesium oder Calcium angreifen und bildet mit einigen Metall-Ionen wie z.B. Al^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} Dicitrato-Komplexe, die sich sehr gut in Wasser lösen. Diese besondere Eigenschaft diese Chelatkomplexe zu bilden ermöglicht das Lösen von Flecken die aus Metallverbindungen bestehen. Zum Beispiel reagiert Citronensäure (CitH_3) mit Kalk (CaCO_3) zunächst zum löslichen Calcium-Dicitrato-Komplex.



Passiert dieser Vorgang unter Erhitzen, fällt sofort schwer lösliches Calciumcitrat aus, deshalb wird Citronensäure ausschließlich zum Kaltentkalken verwendet.



Ein Einsatz von Citronensäure als Fleckenentferner kann daher bedingt erfolgen, solange der spezielle Fleck mit Säure gut behandelt werden kann [28].

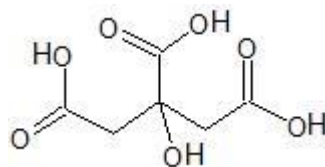


Abbildung 32: Citronensäure [28].

7.1.4 Backpulver

Das gewöhnliche Backpulver soll angeblich auch ein hervorragendes Hausmittel gegen Vergrauung und Flecken sein, dies wird zumindest in den Foren behauptet bzw. von Generation zu Generation weitergegeben. Grundsätzlich setzt sich Backpulver aus einer Mischung aus Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) und einem Säuerungsmittel in Form von Phosphat oder anderen Säuren zusammen. Meistens wird noch ein Trennmittel wie z.B. Stärke zugegeben. Laut Stiftung Warentest liefert das Backpulver als Zusatz zum Waschmittel im direkten Waschprozess weder ein brillantes Weiß noch einen messbaren sauberen Effekt. Auch bei der durchgeführten Vorbehandlung, in der die befleckte Wäsche eine Stunde lang in heißem Wasser mit Backpulver eingeweicht und anschließend in der Waschmaschine gewaschen wurde, blieb der erwünschte Effekt aus. Stiftung Warentest erklärt somit die Behandlung mit Backpulver als überflüssig [2, S.206; 21, S.522-523; 27].

7.1.5 Seifenkraut

Das Seifenkraut wird oft als Alternative zur Gallseife gesehen und findet seinen Einsatz bei der Vorbehandlung von einigen Flecken. Es wurde bereits seit Jahrtausenden bis ins 19. Jahrhundert als Seife und Heilmittel verwendet und war dementsprechend beliebt.

Das Seifenkraut gehört zur Gattung der Nelkengewächse und hat den lateinischen Namen *Saponaria officinalis*. Wie sich vom Namen ableiten lässt, enthält die dicke Wurzel dieser Pflanze einen hohen Anteil an Saponinen. Diese waschaktiven Substanzen sind sehr kompliziert aufgebaut und gehören zur Stoffklasse der Glucoside. Sie enthalten einen Anteil an Kohlenhydraten, der über Etherbrücken mit dem Sapogenin, einem Nichtkohlenhydratanteil, verknüpft ist. Anhand dieser Molekülstruktur erhalten sie ihre grenzflächenaktiven Eigenschaften, ähnlich wie bei den Tensiden. Saponine stellen nun einen wichtigen Inhaltsstoff im Seifenkraut dar und sind auch in der asiatischen Waschnuss und in der Rosskastanie zu finden. Fazit ist, dass diese Substanzen eine umweltschonende Methode zum Reinigen der Wäsche darstellen, doch mit der Effektivität der heutigen Waschmittel nicht mithalten können [2, S.67, 205].



Abbildung 33: Seifenkraut [29].

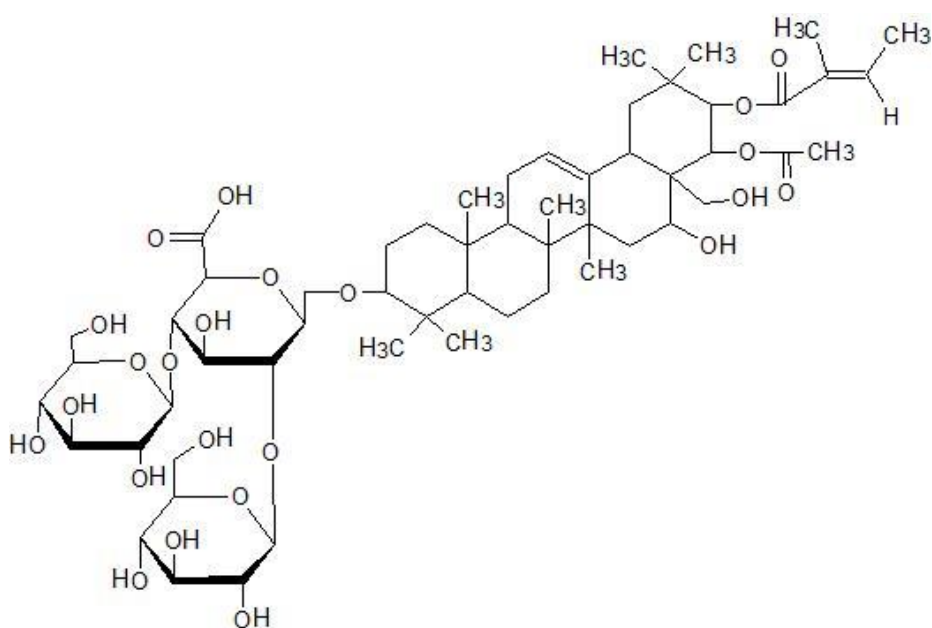


Abbildung 34: Saponin, Strukturformel von β -Aescin ($C_{55}H_{86}O_{24}$) [2, S.68].

7.1.6 Spiritus

Das geeignetste Hausmittel gegen Gras- und Kugelschreiberflecken stellt angeblich der Brennspiritus dar. Dieser Alkohol soll diese Flecken aufhellen und für den weiteren Waschprozess vorbereiten. In erster Linie wird der Brennspiritus zum Heizen und als Lösungsmittel verwendet. Vor allem im Winter kommt er in konzentrierter Form als Enteiser für Autowindschutzscheiben und Türschlösser zur Anwendung.

Brennspiritus ist 96-prozentiger Ethanol (CH_3-CH_2-OH) der durch Vergällung ungenießbar gemacht wurde, um von der Branntweinsteuer befreit zu werden. Das gängigste Vergällungsmittel ist Petrolether, der aus einem Gemisch aus niedrigsiedenden Kohlenwasserstoffen besteht. Es können aber auch andere Vergällungsmittel zugesetzt werden,

wie z.B. Cyclohexan oder Toluol. Allgemein kann man mittels Brennspritus eine Vielzahl an Verschmutzungen, durch den sowohl hydrophilen und hydrophoben Anteil in der Molekülstruktur des Alkohols lösen [30].

7.1.7 Rasenbleiche

Eine sehr beliebte Form um farbige Flecken zu entfernen ist nach wie vor die Rasenbleiche, die bis weit in das 20. Jahrhundert die gängigste Bleichmethode für die überwiegend weiße Kleidung darstellte. Dazu legt man das verschmutzte Kleidungsstück in die Sonne und nutzt dadurch die energiereiche UV-Strahlung des Sonnenlichts. Die dabei auftreffenden Photonen sind in der Lage die Molekülstruktur der Farbstoffe zu zerstören und bleichen so die Farbe der Verschmutzung aus. Um die bleichende Wirkung zu verstärken, sollte das Kleidungsstück nass sein und am besten am Rasen platziert werden. Durch die Einwirkung des Sonnenlichts mit dem vom Rasen produzierten Sauerstoff auf die feuchte Wäsche entsteht Wasserstoffperoxid (H_2O_2). Dieses gilt als sehr starkes Bleichmittel bzw. Oxidationsmittel, mit dem man die Bleichwirkung noch zusätzlich intensivieren kann [31, S.15].

8. Praktische Fleckenvorbehandlung

8.1 Vorbereitung

Vor Beginn der Versuchsreihe fand die Auswahl der einzelnen Flecken und anschließenden Vorbehandlungsmethoden durch eine Internetrecherche statt. Dazu wurden die verschiedenen Internetseiten wie www.flecken-entfernen.info, www.gute-haushaltstipps.de und www.haushaltstipps.com miteinander verglichen und die Behandlungsmethoden so ausgewählt um ihre Zuverlässigkeit zu überprüfen.

Im Vorfeld wurden aus einem Leintuch 11 Rechtecke (ca.18x28cm) zugeschnitten und anschließend mit verschiedenen ausgewählten Flecken versehen. Zusätzlich wurden die einzelnen Stoffstücke am Rand markiert, um das Identifizieren nach dem Waschvorgang zu ermöglichen. Das Auftragen der Flecken erfolgte einheitlich: Dazu wurden in der ersten Reihe Kugelschreiber (1), Make-up (2), Lippenstift (3), Kernöl (4), Ketchup (5) und Rotwein (6), in der zweiten Reihe Kaffee (7), Nagellack (8), Preiselbeere (9), Gulasch (10) und Tinte (11) und in der dritten Reihe Karotten (12), Kurkuma (13), Gras (14) und Tomatensauce (15) nebeneinander angeordnet. In der letzten Reihe befindet sich ein Blutfleck (16).



Abbildung 35: Stoffstück mit verschiedenen Testflecken.

8.2 Durchführung

Am 20.10.2018 wurden ab 9.00 Uhr die Stoffstücke zugeschnitten und seitlich markiert, damit ein späteres Zuordnen ermöglicht wird. Anschließend wurde ein zeitlicher Plan aufgestellt welche Vorbehandlung wann durchgeführt wird, um die Waschmaschine gleichzeitig füllen zu können. Im nächsten Schritt wurden die Flecken wie in Abbildung 35 ersichtlich auf den jeweiligen Stoffstücken aufgetragen und der Zeitplan mit den unterschiedlichen Vorbehandlungen abgehandelt. Nach der Durchführung aller Vorbehandlungen wurden alle Stoffstücke gemeinsam in der Waschmaschine bei 40°C (Stufe: pflegeleicht) mit einem Colorwaschmittel (Persil Color Gel) wie gewöhnlich für 1 Stunde und 45 Minuten gewaschen und anschließend zum Trocknen aufgehängt. Am nächsten Tag wurden die Stoffstücke fotografiert und die Beobachtungen festgehalten.

8.2.1 Gallseife

Material:

Gallseife Flecken-Spray um 2,45 € im Supermarkt (BIPA)

Durchführung:

Für die Behandlung mit der Gallseife wurde das Produkt „Gallseife Flecken-Spray“ von Dr. Beckmann verwendet, wobei die Durchführung wie auf dem Etikett beschrieben erfolgte. Es wurden die Flecken gezielt eingesprüht, die Einwirkzeit dabei betrug fünf Minuten. Der Waschvorgang erfolgte anschließend wie gewohnt bei 40°C mit einem Colorwaschmittel. Mit dieser Vorbehandlung sollten laut Etikett Flecken wie Saucen, Make-up, Lippenstift, Rotwein, Kaffee, Tee, Obst, Gemüse und Blut fasertief entfernt werden.

Vorher:



Abbildung 36: Flecken vor der Behandlung mit Gallseife.

Nachher:



Abbildung 37: Flecken nach der Behandlung mit Gallseife.

Beobachtungen:

Die Gallseife als altbewährtes Hausmittel konnte sich neben den chemischen Fleckenentfernungsmitteln ohne Probleme behaupten. Sie stellt eine sehr preisgünstige und zugleich umweltschonende Alternative zu den herkömmlichen Fleckenbehandlungsmitteln dar. Es gilt aber auch bei der Gallseife, je früher man die Flecken behandelt, desto besser und leichter kann man sie auch entfernen. Direkt nach dem Aufsprühen der Gallseife veränderte sich einerseits die rötliche Farbe des Rotwein und Preiselbeerfleckes ins Dunkelblaue und andererseits verflossen der Kugelschreiber-, der Tinten-, der Karotten- und der Curcuma-fleck. Nach dem Waschgang verblasste der Kugelschreiberfleck im Gegensatz zu den anderen Methoden fast gänzlich, daher hätte eine weitere Behandlung wahrscheinlich den Kugelschreiber komplett aus der Faser gelöst. Die farbigen Flecken wie das grüne Kernöl, die weinrote Preiselbeere, das rote Gulasch sowie die rote Tomatensauce konnten nicht so gut beseitigt werden, sie waren nach wie vor auf dem Stoffstück zu erkennen. Allerdings veränderte sich der Kernölfleck mittels Gallseife von Tiefgrün in ein helles Gelb, daher brachte diese Vorbehandlung eines der besten Ergebnisse. Hingegen waren der Rotweinfleck und der Curcuma-fleck noch schwach zu erkennen. Der Nagellack blieb wie erwartet unverändert auf der Faser haften. Generell ließen sich die Flecken im direkten Vergleich mit den anderen Haushaltsmitteln sehr gut behandeln.

8.2.2 Seifenkraut

Material:

Seifenkraut Fleckseife von Heitmann ab 1,60 € im Handel und Internet

Durchführung:

Als pflanzliche Alternative zur Gallseife gilt das Seifenkraut, was auch auf der Verpackung der Seifenkraut Fleckenseife von Heitmann so angepriesen wird.

Für die Vorbehandlung wurden die Flecken angefeuchtet und anschließend mit der Fleckenseife gut eingerieben. Bevor das Stoffstück dann in der Waschmaschine zusammen mit den anderen vorbehandelten Tüchern wie gewöhnlich bei 40°C gewaschen wurde, ließ man die Seifenkrautseife für 10 min. einwirken.

Vorher:



Abbildung 38: Flecken vor der Behandlung mit Seifenkraut.

Nachher:



Abbildung 39: Flecken nach der Behandlung mit Seifenkraut.

Beobachtungen:

Die Seifenkrautseife enthält sogenannte Saponine, die grenzflächenaktive Eigenschaften aufweisen und somit auch als Tenside eingestuft werden können. Dadurch ist es vor allem möglich fetthaltige Flecken zu behandeln. Nachdem man mit der Seifenkrautfleckenseife die Flecken eingerieben hatte, konnte man eine Farbveränderung des rötlichen Rotweinflecks sowie des rötlichen Preiselbeerflecks beobachten. Beide veränderten sich ins Bläuliche. Der gelbliche Curcumafleck hingegen wurde nach der Behandlung dunkelviolet.

Generell haben sich die Flecken ähnlich wie bei der Vorbehandlung mit der Gallseife entfernen lassen. Im direkten Vergleich konnte man allerdings erkennen, dass die farbigen Flecken nach dem Waschgang etwas farbintensiver auf dem Stoffstück zurückgeblieben sind, speziell Flecken wie Kernöl, Preiselbeere, Gulasch, Curcuma und Tomatensauce. Der Kugelschreiber-

und der Rotweinfleck jedoch verblieben nur sehr schwach und hell auf dem Stoffstück zurück. Auch bei dieser Behandlung blieb der Nagellack wie erwartet auf der Faser erhalten.

8.2.3 Citronensäure

Material:

Citronensäure ab 1,69 € bei Billa

Wasser

Längliche Schüssel

Durchführung:

In einem länglichen Glasgefäß wurden 5 EL der Citronensäure in einem halben Liter kaltem Wasser gelöst. Anschließend wurde das Stoffstück mit den Flecken in der Lösung von 12.44-14.58 Uhr (ca. 2h) eingeweicht und dann wie der Rest in der Waschmaschine gewaschen.

Vorher:



Abbildung 40: Flecken vor der Behandlung mit Citronensäure.

Nachher:



Abbildung 41: Flecken nach der Behandlung mit Citronensäure.

Beobachtungen:

Die altbewährte Citronensäure dient als Entkalker hervorragend, jedoch was das Fleckenentfernen betrifft, sollte man die Verwendung nochmals überdenken. Das im Internet beschriebene Weiß nach der Behandlung mit der Citronensäure blieb aus und lieferte kein befriedigendes Ergebnis. Nachdem das Stoffstück für ca. 2h eingeweicht wurde, konnte man schon erkennen wie die Ketchup-, Rotwein-, Kaffee-, Gulasch- und Karottenflecken immer mehr verblassten. Der darauffolgende Waschgang entfernte diese Flecken schließlich vollkommen, zurückgeblieben sind nur Flecken wie Kugelschreiber, Kernöl, Preiselbeere, Curcuma, Nagellack und Teile vom Lippenstift. Der Tomatensaucenfleck hingegen war nur

mehr sehr schwach zu sehen. Auffällig war, dass trotz der Enzyme im Colorwaschmittel man weiterhin den Gras- und Blutfleck erkennen konnte.

8.2.4 Essig

Material:

Tafelessig ab 0,69 €

Wasser

Längliche Schüssel

Durchführung:

Zuerst wurden die Flecken mit Essig sorgfältig betupft und anschließend in einem Gemisch aus einem halben Liter heißen Wasser und 50 ml Essig (5% Säuregehalt) von 12.44 - 14.58 Uhr (ca. 2h) eingeweicht. Darauf folgend wurde das Stoffstück mit den anderen bei 40°C wie beschrieben gewaschen.

Vorher:



Abbildung 42: Flecken vor der Behandlung mit Essig.

Nachher:

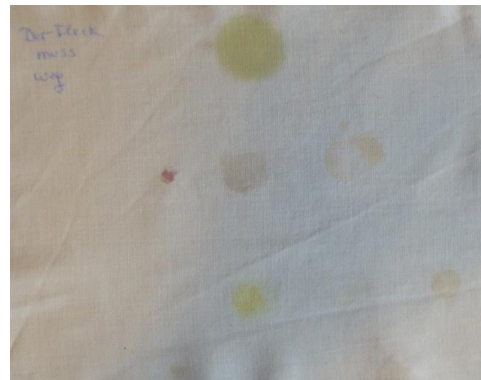


Abbildung 43: Flecken nach der Behandlung mit Essig.

Beobachtungen:

Die Herangehensweise zur Bearbeitung mit Essig war vergleichbar mit der der Citronensäure und dementsprechend lieferten beide Verfahren ein ähnliches Waschergebnis. Nach dem Betupfen und anschließendem Einweichen in der Essiglösung für ca. 2 Stunden konnte man deutlich erkennen, dass vor allem der Rotweinfleck wie auch der Kaffeeleck ausgebleichen waren. Der Tintenfleck war ebenso etwas heller und verfloss nach dem Einweichen in der Lösung. Hingegen veränderten sich die Ketchup-, Gulasch- und Karottenflecken nicht auffällig im Vergleich zur Methode mit der Citronensäure. Durch die anschließende Wäsche in der Waschmaschine konnten die Kugelschreiber-, Kernöl-, Preiselbeer-, Gulasch-, Curcuma-,

Nagellack und Tomatensaucenflecken nicht entfernt werden, sie blieben unverändert auf dem Stoffstück erhalten. Leicht erkennbar waren auch noch Teile vom Lippenstift. Die Blut- und Grasflecken waren ebenfalls wie bei der Behandlung mit der Citronensäure nicht zu entfernen.

8.2.5 Intensiv-Entfärber

Material

Intensiv-Entfärber von Dr. Beckmann um 2,99 € im Supermarkt (BIPA)

Glasschüssel

Teller oder Deckel

Durchführung:

Für die Behandlung mit dem „Intensiv Entfärber“ von Dr. Beckmann wurde nach der Anleitung am Etikett vorgegangen. Es handelt sich dabei um ein Produkt mit 15-30% reduktiver Bleichmittel (Natriumdithionit). Zunächst wurden zwei Teelöffel des Pulvers in 200 ml heißem Wasser aufgelöst. In diese Lösung wurde das Stoffstück so eingelegt, dass es vollständig bedeckt war. Anschließend verschloss man die Glasschüssel mit einem Deckel, damit der Intensiv-Entfärber für ca. 4 Stunden (10.55-14.58 Uhr) einwirken konnte. Danach wurde das Stoffstück mehrmals mit reinem Wasser ausgespült und mit dem Rest in der Waschmaschine bei 40°C gewaschen.

Vorher:



Abbildung 44: Flecken vor der Behandlung mit dem Intensiv-Entfärber.

Nachher:



Abbildung 45: Flecken nach der Behandlung mit dem Intensiv-Entfärber.

Beobachtungen:

Laut Verpackungsetikett soll der Intensiv Entfärber alle Flecken auf weißen und farbechten bunten Textilien, selbst auf empfindlichen Materialien wie Wolle oder Seide entfärben.

Nach dem Vorgehen laut Anleitung konnte man direkt nach dem Herausnehmen aus der Lösung erkennen, dass der Tintenfleck vollkommen verschwunden war. Der Rest der Flecken wurde eine Spur heller, ausgenommen der Make-up-, Lippenstift-, und Curcumafleck. Der gelbe Curcumafleck veränderte sich zusätzlich in eine violette Farbe. Nach dem Waschprozess in der Waschmaschine lieferte der Intensiv Entfärber leider nicht das erwartete weiße Ergebnis. Nach wie vor war der Kugelschreiber-, Preiselbeer-, Curcuma- und Nagellackfleck deutlich zu sehen. Auch der Rotweinfleck war nicht zur Gänze beseitigt worden, er war noch immer als leicht hellbräunlicher Fleck am Stoffstück zu erkennen.

8.2.6 Gebissreiniger**Material:**

Corega Tabs Gebissreiniger um 3,39 € im Supermarkt (BIPA)

Heißes Wasser

Glasschüssel

Teller oder Deckel

Durchführung:

Für diese Vorbehandlung wurde der Gebissreiniger von „Corega Tabs“ verwendet, der Bleichmittel wie Natriumperborat, Kaliumperoxomonosulfat und als Bleichaktivator TAED beinhaltet. Weitere erwähnenswerte Inhaltsstoffe sind Natriumbicarbonat, Citronensäure, Natriumcarbonat, Natriumbenzoate und Natriumlaurylsulfat.

Zunächst löste man zwei Tabletten von Corega in einer Glasschüssel mit genügend warmem Wasser auf. Anschließend wurde darin das Stoffstück eingelegt und vollständig mit der Lösung bedeckt. Die Glasschüssel verschloss man mit einem Deckel und ließ es für ca. eine Stunde (14.00-14.58 Uhr) einwirken, bis das Stoffstück schließlich mit den restlichen Stücken in der Waschmaschine wie gewöhnlich bei 40°C gewaschen wurde.

Vorher:

Abbildung 46: Flecken vor der Behandlung mit dem Gebissreiniger.

Nachher:

Abbildung 47: Flecken nach der Behandlung mit dem Gebissreiniger.

Beobachtungen:

Unmittelbar nach der Entnahme des Stoffstückes aus der Gebissreinigungslösung waren der Rotwein-, Kaffee-, Preiselbeer- und Tintenfleck nicht mehr sichtbar. Die Ketchup-, Karotten- und Grasflecken waren hingegen weiterhin zu sehen, allerdings etwas heller als zuvor. Die Ergebnisse des nachfolgenden Waschgangs ergaben, dass ausschließlich Flecken wie Kernöl, Nagellack, Gulasch, Lippenstift, Curcuma und Tomatensauce noch zu erkennen waren. Auch der Kugelschreiberfleck löste sich fast vollständig auf. Grundsätzlich lieferte diese Behandlungsmethode das beste Ergebnis.

8.2.7 Backpulver**Material:**

Backpulver

Warmes Wasser

Glasschüssel

Durchführung:

Zunächst wurden die frischen Flecken auf dem Stoffstück direkt mit dem Backpulver bestreut und damit vollständig abgedeckt. Nachdem die nassen Flecken das Backpulver aufgesaugt hatten (ca.8min.), beseitigte man dieses. Im nächsten Schritt wurde Backpulver über das Stoffstück in der Glasschüssel gestreut und anschließend mit wenig warmem Wasser begossen. Nach einer halben Stunde (14.25-14.58 Uhr) Einwirkzeit kam das Stoffstück mit den anderen Stoffstücken zusammen in die Waschmaschine und wurde wie gewohnt bei 40°C gewaschen.

Vorher:



Abbildung 48: Flecken vor der Behandlung mit dem Backpulver.

Nachher:

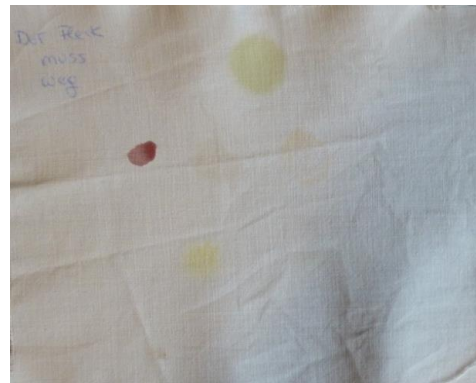


Abbildung 49: Flecken nach der Behandlung mit dem Backpulver.

Beobachtungen:

Nach dem direkten Bestreuen mit dem Backpulver und anschließenden Einwirken konnten keine merklichen Veränderungen festgestellt werden, außer dass die Flüssigkeit dadurch aufgesaugt wurde. Im darauffolgenden Schritt konnte man beobachten wie durch die Zugabe von warmem Wasser sowohl der Rotwein-, Kaffee-, Gulasch-, Tinten- und sogar der Preiselbeerfleck etwas verblassten. Nach dem eigentlichen Waschgang in der Waschmaschine erkannte man weiterhin den Kugelschreiber-, Kernöl-, Nagellack-, Preiselbeer-, Gulasch- und Curcuma-fleck. Im direkten Vergleich zu den anderen Vorbehandlungen war der Preiselbeerfleck nur mehr sehr schwach zu sehen. Auch bei dieser Methode blieb der Blutfleck wie bei der Citronensäure und dem Essig auf dem Stoffstück haften. Leicht sichtbar waren die kosmetischen Flecken wie Make-up und Lippenstift. Die Tomatensauce wurde auf dem Stoffstück vergessen auf zu tragen, es wurde deshalb ein weiterer Versuch nur mit der Tomatensauce durchgeführt. Dieser ergab, dass die Tomatensauce nach dem Waschprozess noch immer zu sehen war.

8.2.8 Vanish Oxi Action

Material:

Vanish Oxi Action Spray um 4,95 € im Supermarkt (BIPA)

Durchführung:

Mit dem Vanish Oxi Action Spray sprühte man direkt auf die Flecken und rieb ihn sanft ein. Nach einer 5-minütigen Einwirkzeit wurde das Stoffstück in der Waschmaschine wie gewohnt bei 40°C gewaschen.

Vorher:



Abbildung 50: Flecken vor der Behandlung mit Vanish Oxi Action.

Nachher:



Abbildung 51: Flecken nach der Behandlung mit Vanish Oxi Action.

Beobachtungen:

Kurz nach dem Besprühen mit dem Vanish Oxi Action Spray konnte man schon erkennen wie die meisten Flecken verflossen und gleichzeitig auch verblassten. Der anschließende Waschprozess lieferte ein Ergebnis bei dem nur mehr der Kernölfleck und der Nagellack intensiv zu sehen waren. Vom Kugelschreiber-, Curcuma-, Tomatensaucen und Gulaschfleck konnte man nur mehr die Umrisse wahrnehmen. Der Kernölfleck war hingegen nach wie vor als ausgebleichter brauner Fleck zu bemerken. Wie erwartet war auch bei dieser Vorbehandlung der Nagellack nicht zu entfernen.

8.2.9 Spiritus

Material:

Brennspiritus ACM

Glasschüssel

Durchführung:

Das Stoffstück mit den Flecken wurde in eine Glasschüssel gefüllt mit Brennspiritus eingelegt. Nach sanftem Einreiben der Flecken ließ man den Brennspiritus für ca. eine halbe Stunde (14.28-14.53 Uhr) einwirken bevor man das Stoffstück in der Waschmaschine bei 40°C wie gewohnt wusch.

Vorher:



Abbildung 52: Flecken vor der Behandlung mit Spiritus.

Nachher:

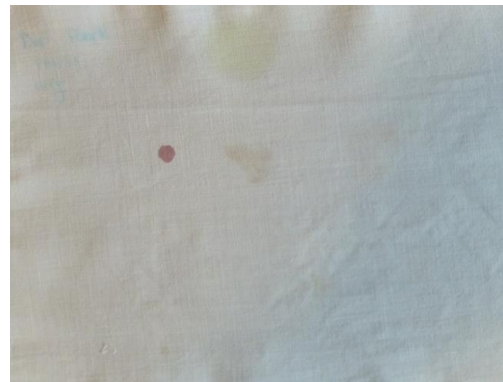


Abbildung 53: Flecken nach der Behandlung mit Spiritus.

Beobachtungen:

Nach dem Einwirken von Brennspiritus konnte man nicht wirklich etwas Auffälliges beobachten, außer dass sich der Kugelschreiberfleck sehr ins Hellblaue verfärbte. Durch den anschließenden Waschgang konnten dann einige Flecken vollkommen entfernt werden. Zurückgeblieben sind nur ein hellblauer Kugelschreiberfleck, ein gelblicher Kernölfleck und ein bräunlicher Preiselbeerfleck. Der Nagellack konnte trotz mehrmaligem Einreiben auch mit Spiritus nicht entfernt werden.

8.2.10 Rasenbleiche

Material:

Sonne und Wasser

Durchführung:

Das Stoffstück wurde nass für ca. 5 Stunden (10.00-14.58 Uhr) in die Sonne gelegt und dann anschließend in der Waschmaschine wie gewohnt bei 40°C gewaschen.

Vorher:



Abbildung 54: Flecken vor Rasenbleiche.

Nach ca.5 Stunden



Abbildung 55: Flecken nach ca. 5 Stunden Rasenbleiche.

Nachher:



Abbildung 56: Flecken nach Rasenbleiche und Waschprozess.

Beobachtungen:

Die Rasenbleiche ist eine der gängigsten Methoden um vor allem Kernölflecken zu beseitigen. Auch in diesem Fall konnte man erkennen, dass diese Behandlung sehr wirkungsvoll ist. Nach ca. 5 Stunden waren schon die grünen Farbbestandteile des Kernöls ausgebleicht. Dasselbe geschah mit dem Rotwein-, Kaffee-, Gulasch-, Tinten-, Karotten-, Gras- und Blutfleck, sie verblassten und zurückgeblieben sind unter anderem ölige Restbestände. Der Tomatensaucenfleck war hingegen nach der Rasenbleiche komplett verschwunden. Unverändert blieben Flecken wie Kugelschreiber, Nagellack, Make-up und Lippenstift.

Durch die weitere Wäsche in der Waschmaschine blieben schließlich nur mehr der Kugelschreiber-, Nagellack und Preiselbeerfleck übrig, sie konnten nicht vollständig entfernt werden. Auch Teile vom Lippenstift waren weiterhin noch sichtbar. Der Rotweinfleck hatte sich nach dem Waschgang in ein ganz helles Braun verändert, somit war der Fleck nicht vollkommen verschwunden.

8.3 Diskussion und Ergebnisse

Auf der folgenden Seite sind die Vorbehandlungsmethoden in einer Tabelle zusammengefasst in der genau aufgezeigt wird, welche Flecken sich gut, gar nicht oder nur leicht lösen. Sie soll einen kurzen Überblick verschaffen welche Methode für das Entfernen des jeweiligen Flecks am besten funktioniert bzw. welche absolut ungeeignet ist.

Natürlich spielt das Material der Textilien auch immer eine große Rolle, ob man einen Fleck schlussendlich entfernen kann oder nicht. Dies sollte man immer im Hinterkopf beachten.

Leicht zu entfernen waren vor allem der Make-up-, Ketchup-, Rotwein-, Kaffee-, Tinten- und Karottenfleck. Rote bzw. rötlich braune Farbtöne werden durch phenolhaltige Gruppen hervorgerufen, die beispielsweise in den Anthocyanen (z.B. Rotwein) oder Flavinen (z.B. Kaffee, Tee, Obst) enthalten sind. Diese sind dementsprechend leicht in Wasser ionisierbar und zu reinigen, indem man mit hydrophilen Bleichmitteln wie z.B. Peressigsäure diese Strukturen angreift. Wasserunlösliche, hydrophobe Farbstoffe wie Porphorinsysteme (z.B. Chlorophyll im Gras, Hämoglobin im Blut) oder vollständig konjugierte Kohlenwasserstoffe (z.B. Carotinoide, Curcumin) hingegen sind sehr schwer zu oxidieren [11, S.11; 33, S.287].

Auffällig war, dass die carotinoidhaltigen Flecken wie das Gulasch und die Tomatensauce auch nach dem Waschprozess weiterhin zu sehen waren, allerdings nach einer Woche auf allen Stoffstücken ohne eine zusätzliche Behandlung vollkommen verschwunden waren. Der Kugelschreiberfleck war unter anderem sehr schwierig zu entfernen, die besten Ergebnisse erreichte man mit Spiritus, dem Intensiv-Entfärber und dem Gebissreiniger, aber auch mit der Gallseife und dem Seifenkraut konnte man merkbare Veränderungen feststellen. Da die Kugelschreibermine bzw. die Tinte je nach Zusammensetzung aus einer Dispersion von Farbstoffen oder Farbpigmenten in Wasser oder anderen Lösungsmitteln besteht, bietet sich die Verwendung von Lösungsmitteln wie Spiritus an [32]. Da in vielen Internetforen auch die Vorbehandlung mit Milch vorgeschlagen wird, wurde ein weiterer Versuch nur für die Behandlung von Kugelschreiber durchgeführt. Dazu wurde über Nacht der Kugelschreiberfleck in Milch eingeweicht und anschließend wie gewohnt in der Waschmaschine gewaschen. Tatsächlich hat dieser Trick mit der Milch funktioniert, der Kugelschreiberfleck war danach nicht mehr zu sehen.

Der Lippenstift besteht größtenteils aus hydrophoben Bestandteilen wie Ölen, Fetten und Wachsen, in denen sich die Farbpigmente gut benetzen und verteilen können [34]. Da sich der Lippenstift nicht mit Citronensäure, dem Essig und dem Backpulver entfernen ließ, kann man daraus ableiten, dass sich der hydrophobe Lippenstift schlecht in diesen hydrophilen

Substanzen löst. Es gilt die Regel „Gleiches löst sich in Gleichem“ [35]. Allerdings konnte mittels Gebissreiniger und Intensiv-Entfärber der Lippenstift auch nicht beseitigt werden. Da diese beiden Behandlungsmethoden reduktive Bleichmittel enthalten, lässt sich die Vermutung aufstellen, dass der Lippenstift nur mit oxidativen Bleichmitteln angreifbar ist.

Ein weiterer Fleck der schwer zu entfernen war, ist der Kernölfleck. Wie erwartet, war das einzige erfolgreiche Haushaltsmittel die Rasenbleiche, die die grünen Farbbestandteile durch die energiereiche UV-Strahlung des Sonnenlichtes ausbleicht, sodass nur mehr die öligen Restbestände übrigblieben [31, S.15]. Diese konnten dann mit Hilfe vom Waschmittel komplett entfernt werden. Eine weitere Methode um Kernölflecken vollkommen los zu werden, war der Intensiv-Entfärber.

Mit keiner der Vorbehandlungen zu beseitigen war einzig der Nagellack, er blieb bei allen Methoden gleich intensiv auf dem Stoffstück erhalten. Auch zusätzliches Einreiben mit Spiritus veränderte den Nagellackfleck nicht auffällig. Des Weiteren wurde versucht den Nagellack direkt nach dem Auftragen auf das Stoffstück mit Nagellackentferner (Aceton) vorsichtig von beiden Seiten zu betupfen. Der Fleck wurde zwar etwas heller, konnte trotzdem nicht bedeutungsvoll entfernt werden.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass sich nur der Gebissreiniger zur Beseitigung der Preiselbeerrückstände eignete. Preiselbeeren bestehen unter anderem aus Phenolglukosiden, Gerbstoffen und Flavonoiden, welche allesamt den hydrophilen Substanzen zuzurechnen sind [36].

Umso bemerkenswerter erscheint folglich die Tatsache, dass die Rückstände trotz ihrer offensichtlichen Wasserlöslichkeit nicht auf jene einfache Weise zu entfernen waren. Vermutlich waren noch weitere farbgebende Substanzen in der gekauften Preiselbeere. Auffällig war weiters, dass bei der Behandlung mit Citronensäure, Essig und Backpulver der Blutfleck nicht verschwunden ist. Er war trotz der anschließenden Wäsche in der Waschmaschine als bräunlicher Fleck zu sehen.

Auch der Grasfleck war nach der Vorbehandlung mit Citronensäure und Essig und der darauf folgenden Wäsche in der Waschmaschine weiterhin zu erkennen.

Tabelle 8: Auswertung der Vorbehandlungen.

	Gallseife	Seifenkraut	Citronensäure	Essig	Intensiv- Entfärber	Gebissreinigung	Backpulver	Vanish Oxi Action	Spiritus	Rasenbleiche
Kugelschreiber	~	~	X	X	~	~	X	X	~	X
Make-up	O	O	O	O	O	O	~	O	O	O
Lippenstift	O	O	~	~	X	X	~	O	O	O
Kernöl	X	X	X	X	O	X	X	X	X	O
Ketchup	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Rotwein	~	~	O	O	~	O	O	O	O	~
Kaffee	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Nagellack	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Preiselbeere	X	X	X	X	X	O	X	X	X	X
Gulasch	X	X	O	X	O	X	X	X	~	O
Tinte	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Karotten	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Curcuma	O	X	X	X	X	X	X	X	O	O
Gras	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O
Tomatensauce	X	X	~	X	O	~	X	~	O	O
Blut	O	O	X	X	O	O	X	O	O	O

Legende:

x ... sichtbarer Fleck

~ ... leicht bzw. nur teilweise sichtbarer Fleck

O ... vollständig entfernt

8.4 Schulbezug

Die Erkenntnis hinter dieser Versuchsreihe mit den unterschiedlichen Fleckenbehandlungen liegt darin, dass es kein universelles Mittel gegen alle Flecken gibt, besonders wenn es sich um farbige Substanzen handelt. Es zeigt sich nämlich, dass jeder Fleck eine eigene chemische Struktur besitzt und dadurch auch andere Eigenschaften aufweist. Dieser Grund ist auch dafür verantwortlich, dass es kein einheitliches Verfahren für die Fleckenbeseitigung gibt. Die Theorie hinter diesen Versuchen deckt im Lehrplan der Oberstufe vor allem das Thema Waschmittel, aber auch organische Farbstoffe und Pigmente ab. Die Schüler und Schülerinnen sollten im Zuge dessen in der Lage sein, Modelle der chemischen Bindung inklusive der delokalisierten Elektronensysteme und der Wechselwirkung zwischen den Teilchen beschreiben und vergleichen zu können. Außerdem wird das Struktur-Eigenschafts-Konzept verwendet, indem die Schüler und Schülerinnen die Eigenschaften von Stoffen durch Art, Anordnung und Wechselwirkung der Teilchen erklären können. Sie sollten daher auch Zusammenhänge von Strukturen und Eigenschaften anhand von Kohlenstoffverbindungen inklusive deren funktioneller Gruppen beschreiben können und im Stande sein, eine kritisch reflektierende Meinung von differenzierten Stoffkenntnissen zur Behandlung von farbigen Flecken beziehen können. Neben diesen erwähnten Inhaltsdimensionen, die in den einzelnen Semestern der neuen Oberstufe vorgesehen sind, gibt es noch die Handlungsdimension und die Anforderungsdimension, die zum dreidimensionalen Kompetenzmodell der Chemie zählen. Die Handlungsdimension beinhaltet die Bereiche Wissen organisieren, Erkenntnisse gewinnen und Konsequenzen ziehen. Es bietet sich daher eine Projektarbeit zum Thema Fleckenentfernen an, da es anregt den Chemieunterricht mit dem Alltag zu verbinden. Beim Wissen organisieren sollten die Schüler und Schülerinnen fähig sein, aus unterschiedlich relevanten Quellen zu recherchieren und daraus fachspezifische Informationen zu entnehmen. Mit Hilfe von Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, die sich die Schüler und Schülerinnen im Vorfeld erarbeitet haben, sollte es möglich sein, chemisches Wissen zu organisieren und dementsprechend Vorgänge und Phänomene darstellen, erläutern und diskutieren zu können. Auf das Projekt bezogen geht es in diesem Bereich darum, verschiedene Vorbehandlungsmethoden zu den jeweiligen farbigen Flecken ausfindig zu machen und gleichzeitig die chemische Theorie dahinter darzustellen, zu erläutern und zu diskutieren.

Um nun Erkenntnisse zu gewinnen, sollte eine passende Untersuchung zu chemischen Fragen, Vermutungen und Problemstellungen geplant, durchgeführt und protokolliert werden. Außerdem sollten Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysiert und im Hinblick auf

konkrete Fragen, Vermutungen oder Problemstellungen kritisch betrachtet werden. Für das Projekt gilt es daher ein Experiment unter den genannten Aspekten zu planen, durchzuführen und zu protokollieren um anschließend die Ergebnisse, wie in Kapitel 8 erarbeitet, zu analysieren.

Der letzte Bereich umfasst Konsequenzen zu ziehen, indem man chemische Fragestellungen und Argumentationen erkennt und versucht konkurrierende Interpretationen gegeneinander abzuwägen und anhand dessen Entscheidungen zu treffen. Die erworbenen Daten, Fakten und Ergebnisse aus den unterschiedlichen Quellen und deren Schlussfolgerungen sollten kritisch hinterfragt werden und eventuelle Gründe und Erklärungen angegeben werden.

Bezogen auf das Projekt sollten die erworbenen Daten und Ergebnisse zum Experiment mit den unterschiedlichen Flecken interpretiert und die Schlussfolgerungen kritisch hinterfragt werden, wie in Abschnitt 8.3.


Zuletzt möchte ich noch die Anforderungsdimension erwähnen, die in zwei Niveaus gegliedert wird. Entweder in Niveau 1, in der der Lehrer bzw. die Lehrerin die Aufgabe anleitet oder in Niveau 2, in der die Schüler bzw. Schülerinnen selbstständig arbeiten. Die Entscheidung welches Niveau man auswählt, liegt an der Aufmerksamkeit, dem Wissensstand und der Reife der Klasse. Ziel dieser Versuchsreihe ist es, erworbene Kenntnisse und Fertigkeiten die im Chemieunterricht erlernt wurden auch im alltäglichen Leben anzuwenden. Es soll über die Schule hinaus die Eigenständigkeit gefördert werden indem man das wissenschaftliche Denken und Arbeiten verwendet um Probleme lösen zu können. Dazu zählt einerseits Erklärungen für gewisse Vorgänge zu suchen, zu finden und andererseits auch kritisch zu hinterfragen. Wichtig ist, dass die Schüler und Schülerinnen ein Bewusstsein bekommen mit welchen Materialien und Substanzen sie im alltäglichen Leben arbeiten und zu tun haben. Im Zusammenhang mit dem Experiment sollten sie die Kompetenz erlangen, Inhaltsstoffe der jeweiligen farbigen Flecken und Behandlungsmethoden zu interpretieren und daraus Rückschlüsse zu ziehen, warum sich schlussendlich Flecken lösen oder auch nicht. Außerdem sollte dabei auch ein Umweltbewusstsein geschaffen werden, da man gewisse Flecken problemlos mit Hausmitteln entfernen kann ohne zu Waschmitteln oder anderen Vorbehandlungsprodukten zurückgreifen zu müssen [43].

Grundsätzlich sollte dieses Thema in der Schule nicht nur wegen des Lehrplanes aufgegriffen werden, sondern auch weil sich sicher schon jeder einmal mit hartnäckigen Flecken auseinandersetzen musste und wahrscheinlich schon die eine oder andere Vorbehandlungsmethode ausprobiert hat. Doch hat sich schon mal jemand die Frage gestellt warum es funktioniert?

9. Schulunterlagen

9.1 Schülerblatt: Nachweis von Bleichmittel in Waschmitteln

Tabelle 9: Gefahrenstoffe [37].

Gefahrenstoffe			
	Oxidative Bleichmittel	H: 272+302+318	P: 305+351+338

Material: Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Spatel

Chemikalien: Blaue Tinte, Bleichmittel, Colorwaschmittel, flüssiges Vollwaschmittel, pulverförmiges Vollwaschmittel, Flüssigseife, Wasser

Durchführung: Jedes der 5 Reagenzgläser wird mit einem Tropfen Tinte und mit ca. 3mL Wasser versehen. Danach dient ein Reagenzglas als Kontrolle, eines wird mit Colorwaschmittel versehen, eines mit flüssigem Vollwaschmittel, eines mit pulverförmigem Vollwaschmittel und das letzte mit einigen Tropfen Flüssigseife. (ev. vorsichtig erwärmen)
Diese werden dann anschließend behutsam geschüttelt.

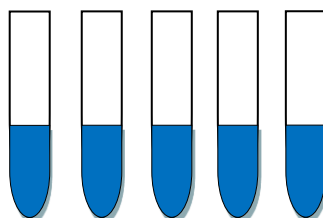


Abbildung 57: Reagenzgläser.

Entsorgung: Abfluss

Aufgaben:

- 1.) Beschreibe deine Versuchsbeobachtungen!
- 2.) Ermittle die Bleichmittel die in Waschmitteln vorkommen und gib die Lewisformelschreibweise an!
- 3.) Ordne die Inhaltsstoffe der Waschmittel den jeweiligen Funktionsbausteinen zu und gib an ob, diese in den Voll- bzw.

Colorwaschmittel enthalten sind (siehe nächste Seite). Erstelle eine Tabelle!

4.) Erkläre warum die Blaufärbung bei der Behandlung mit Flüssigseife erhalten bleibt.

5.) Erörtere die Funktionsweise von Bleichprozessen. [37]

Tabelle 10: Funktionsbausteine und Inhaltsstoffe von Waschmitteln.

Funktionsbausteine	Inhaltsstoffe
<div>Tenside: <ul style="list-style-type: none"> 1.) Anionische Tenside 2.) Kationische Tenside 3.) Nichtionische Tenside 4.) Amphotere Tenside </div> <div>Enzyme</div> <div>Gerüstsubstanzen</div> <div>Vergrauungsinhibitoren</div> <div>Farbübertragungsinhibitoren</div> <div>Optische Aufheller</div> <div>Stabilisatoren</div> <div>Schaumregulatoren</div> <div>Duftstoffe</div> <div>Bleichmittel</div> <div>Farbstoffe</div> <div>Füllstoffe</div>	<div>Alkylbenzolsulfonate (LAS)</div> <div>Seife</div> <div>Zeolithe</div> <div>Cellulasen</div> <div>Esterquats</div> <div>Proteasen</div> <div>Tetraacetylenhydriamin (TAED)</div> <div>Pektinasen</div> <div>Betain</div> <div>Amylasen</div> <div>Carboxymethylcellulose (CMC)</div> <div>Mannanasen</div> <div>Polyvinylpyrrolidon (PVP)</div> <div>Fettalkoholsulfate (FAS)</div> <div>Lipasen</div> <div>Phosphonate</div> <div>Fettalkoholethoxylate (FAEO)</div> <div>Siliconöle oder Paraffinöle</div> <div>Natriumpercarbonat</div> <div>Natriumsulfat</div>

9.2 Lehrerblatt: Nachweis von Bleichmittel in Waschmitteln

Der fachliche Hintergrund zu diesem Versuch wird in Kapitel 4 und Kapitel 5 näher beschrieben.

Versuchsdauer: ca.15 Minuten

Aufgabenstellung nach Anforderungsbereichen:

Anforderungsbereich I

1.) Beschreibe deine Versuchsbeobachtungen!

Hilfestellung: Welche Proben entfärben sich? Lassen sich Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede erkennen?

Erwartungshorizont:

Die Tintenlösung ohne Zusatz bleibt weiterhin blau gefärbt. Bei Zugabe von pulverförmigem Waschmittel entfärbte sich die Lösung und ist nur mehr als leicht bläuliche Suspension zu erkennen. Nach der Zugabe vom Colorwaschmittel und dem flüssigen Vollwaschmittel konnte man eine Verfärbung ins hellblaue beobachten. Hingegen bei der Flüssigseife wurde keine Veränderung der Farbe festgestellt, die Lösung blieb weiterhin dunkelblau.

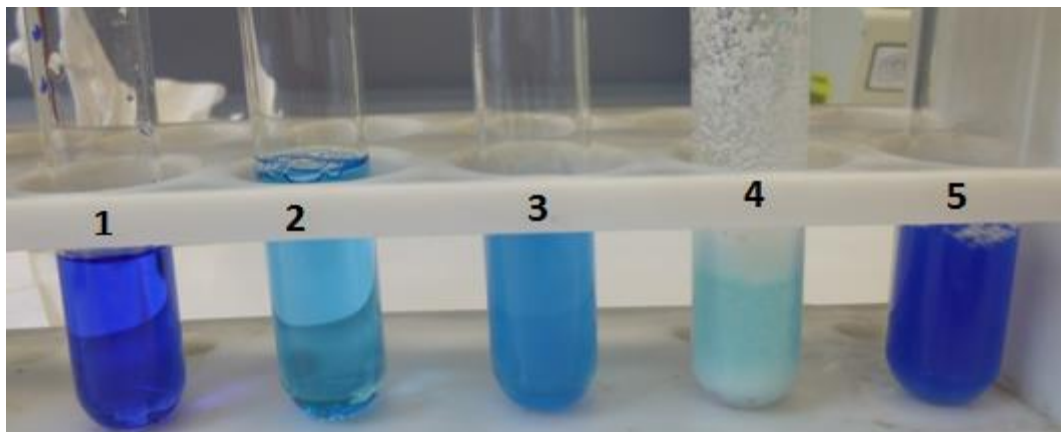


Abbildung 58: Vergleich der Kontrollprobe (1) mit den Farbveränderungen nach Zugabe von Colorwaschmittel (2), flüssigem Vollwaschmittel (3), pulverförmigen Vollwaschmittel (4) und Flüssigseife (5).

2.) Ermittle die Bleichmittel die in Waschmitteln vorkommen und gib die Lewisformelschreibweise an!

Hilfestellung: Informiere dich in deinem Chemiebuch bzw. im Internet.

Erwartungshorizont:

Natriumperborat

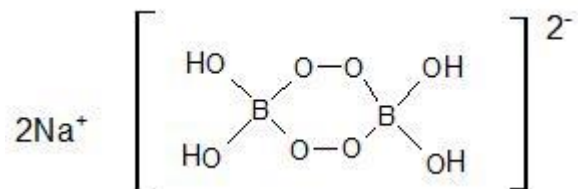


Abbildung 59: Natriumperborat [3, S.67-69].

Natriumpercarbonat ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}_2$)

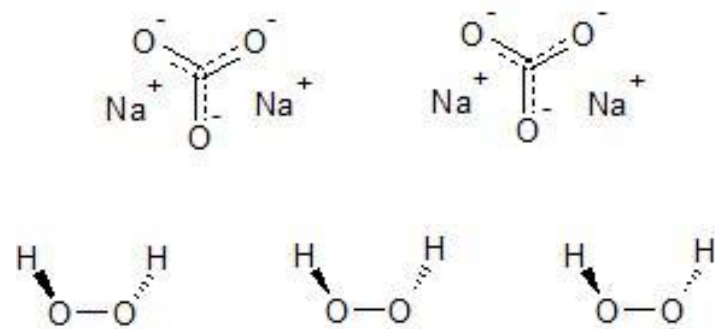


Abbildung 60: Natriumpercarbonat.

Wasserstoffperoxid (H_2O_2)

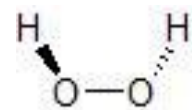


Abbildung 61: Wasserstoffperoxid.

Anforderungsbereich II

- 3.) Ordne die Inhaltsstoffe der Waschmittel den jeweiligen Funktionsbausteinen zu und gib an ob diese in den Voll- bzw. Colorwaschmittel enthalten sind (siehe nächste Seite). Erstelle eine Tabelle!

Hilfestellung: Informiere dich in deinem Chemiebuch bzw. im Internet.

Erwartungshorizont:

Tabelle 11: Zuordnung der Funktionsbausteinen und Inhaltsstoffen zu Voll- und Colorwaschmittel.

Funktionsbaustein	Inhaltsstoffe (Beispiel)	Voll- waschmittel	Color- waschmittel
Tenside 1.) Anionische Tenside 2.) Kationische Tenside 3.) Nichtionische Tenside 4.) Amphotere Tenside	1.) Alkylbenzolsulfonate (LAS), Seife, Fettalkoholsulfate (FAS) 2.) Esterquats 3.) Fettalkoholethoxylate (FAEO) 4.) Betain	X	X
Gerüstsubstanzen	Zeolithe	X	X
Bleichmittel	Natriumpercarbonat, Tetraacetylenhydriamin (TAED)	X	
Enzyme	Proteasen, Lipasen, Amylasen, Cellulasen, Mannanasen, Pektinasen	X	X
Vergrauungsinhibitoren	Carboxymethylcellulose (CMC)	X	X
Farbübertragungsinhibitoren	Polyvinylpyrrolidon (PVP)		X
Optische Aufheller		X	
Stabilisatoren	Phosphonate	X	X
Schaumregulatoren	Siliconöle oder Paraffinöle	X	X
Duftstoffe		X	X
Farbstoffe			
Füllstoffe	Natriumsulfat	X	X

4.) Erkläre warum die Blaufärbung bei der Behandlung mit Flüssigseife erhalten bleibt.

Hilfestellung: Welche Inhaltsstoffe besitzt die Flüssigseife?

Erwartungshorizont:

Da die Seife keine Bleichmittel enthält, sondern hauptsächlich Tenside, bleibt die Blaufärbung erhalten.

Anforderungsbereich III

5.) Erörtere die Funktionsweise von Bleichprozessen.

Hilfestellung: Was ist die Aufgabe von Oxidationsmitteln?






Erwartungshorizont:

Der durch den Abbau von Wasserstoffperoxid (Oxidationsmittel) gebildete reaktive Sauerstoff ($O_2^{\cdot -}$), gilt als bleichende Substanz. Dieser reaktive Sauerstoff ist nun in der Lage die konjugierten Doppelbindungen von farbgebenden Substanzen zu oxidieren und somit zu farblosen und wasserlöslichen Farbstofffragmenten zu überführen (siehe Abschnitt 5.1.4).

9.3 Schülerblatt: Entfärben von Kaliumpermanganat mit Wasserstoffperoxid

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) wird nicht nur vom Friseur zum Haare bleichen verwendet, sondern dieses starke Oxidationsmittel findet man auch in Vorbehandlungsprodukten wie „Vanish Oxi Action“, um unerwünschte Farbflecken zu entfernen. Es kann mittels Kaliumpermanganat die Menge an Wasserstoffperoxid in der Probe ermittelt werden. Dabei wird bei dieser Reaktion die violette Permanganatlösung entfärbt.

Tabelle 12: Gefahrenstoffe [38; 39].

Gefahrenstoffe				
	Oxidative Bleichmittel	H: 272, 360 Df, 302, 335, 318	P: 305+351+338	
  	Kaliumpermanganat (KMnO_4)	H: 272, 302, 410	P: 220, 273, 280	
	Schwefelsäure (H_2SO_4)	H: 290, 314	P: 280, 301+330+331, 303+361+353, 305+351+338, 310	

Material:

Waage (0,001g), Reagenzgläser, Becherglas, Bürette

Chemikalien:

Vanish Oxi Action, KMnO_4 - Lösung (0,020 mol/L), H_2SO_4 (2M), destilliertes Wasser

Durchführung:

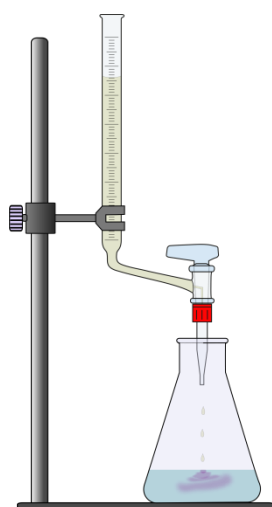


Abbildung 62: Aufbau einer Titration [41].

In einem 100mL Becherglas werden 200-250 mg Vanish Oxy Action genau abgewogen. Das Ergebnis sollte auf mg-Stelle genau in folgender Tabelle aufgeschrieben werden. Anschließend gibt man destilliertes Wasser hinzu, sodass das Becherglas bis zu etwa einem Viertel (ca. 50 mL) gefüllt ist. Dazu werden ca. 20 mL verdünnte Schwefelsäure (H_2SO_4) hinzugegeben und kurz geschwenkt. Der Aufbau für die Titration sollte wie in der nebenstehenden Abbildung erfolgen. Damit man anschließend die Bürette mit der Kaliumpermanganat-Lösung (KMnO_4) füllen kann. (Achte darauf, dass der Hahn geschlossen ist)

- Nun wird tropfenweise Kaliumpermanganat-Lösung hinzugegeben, wobei währenddessen immer gut geschwenkt wird.
- Das zugegebene Lösungsvolumen wird genau abgelesen (Achte auf den Meniskus) und die Bestimmung 3-mal durchgeführt. Das Volumen wird in folgender Tabelle eingetragen.

Entsorgung: Alle farblosen Lösungen werden über den Abfluss entsorgt. Falls die Lösung noch rosa ist, wird noch Vanish Oxi Action hinzugegeben.

Protokoll:

- 1.) Ermittle die stattfindende Reaktionsgleichung und gib die Art der Reaktion an!
- 2.) Weise nach wie viel mg Wasserstoffperoxid sich in der Vanish Oxi Action- Lösung befinden. Fülle dazu folgende Tabelle aus:

Hinweis: 1mL Permanganatlösung (0,020M) = 1,7 mg H₂O₂

$$c = \frac{n}{V} \qquad n = \frac{m}{M}$$

Tabelle 13: Ergebnistabelle (Arbeitsblatt).

Einwaage 1:	Einwaage 2:	Einwaage 3:
V ₁ =	V ₂ =	V ₃ =
Berechnungen des Bleichmittelgehalts:		
m ₁ (Bleichmittel)=	m ₂ (Bleichmittel)=	m ₃ (Bleichmittel)=
% (Bleichmittel)=	% (Bleichmittel)=	% (Bleichmittel)=
m _{Mittelwert} (Bleichmittel) =		
% _{Mittelwert} (Bleichmittel) =		

- 3.) Diskutiere, ob sich Wasserstoffperoxid wirklich als starkes Oxidationsmittel verhält.

[40]

9.4 Lehrerblatt: Entfärben von Kaliumpermanganat mit Wasserstoffperoxid

Versuchsdauer: ca.30 Minuten

Vorbereitungen für Lehrer/innen: Für die Herstellung einer 0,020 M Kaliumpermanganat-Lösung werden 3,16 g festes Kaliumpermanganat in etwa 500 mL Wasser gelöst und dann mit Wasser auf 1000 mL aufgefüllt.

Aufgabenstellung nach Anforderungsbereichen:

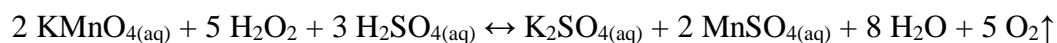
Anforderungsbereich I

1.) Ermittle die stattfindende Reaktionsgleichung und gib die Art der Reaktion an!

Hilfestellung: Mit welchen Chemikalien arbeitest du?

Erwartungshorizont:

Es handelt sich dabei um eine Redoxreaktion.



Anforderungsbereich II

2.) Weise nach wie viel mg Wasserstoffperoxid sich in der Vanish Oxi Action- Lösung befinden. Fülle dazu folgende Tabelle aus:

Hilfestellung: Hinweis am Arbeitsblatt.

Erwartungshorizont:

Berechnungen:

$$c = \frac{n}{V} \rightarrow n(\text{KMnO}_4) = c(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4) = 0,02 \cdot V(\text{KMnO}_4) \text{ mmol}$$

Da KMnO_4 und H_2O_2 2:5 reagieren:

$$n(\text{H}_2\text{O}_2) = 2,5 \cdot 0,02 \cdot V(\text{KMnO}_4) \text{ mmol}$$

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow m(\text{H}_2\text{O}_2) = 2,5 \cdot 0,02 \cdot V(\text{KMnO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{O}_2) = V(\text{KMnO}_4) \cdot 1,7 \text{ mg}$$

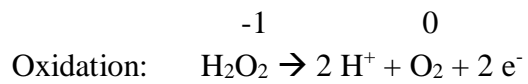
Anforderungsbereich III

3.) Diskutiere, ob sich Wasserstoffperoxid wirklich als starkes Oxidationsmittel verhält.

Hilfestellung: Gib die Oxidationszahlen in der Reaktionsgleichung an und ermittle was oxidiert bzw. reduziert wird.

Erwartungshorizont:

Wasserstoffperoxid wird oxidiert und ist in diesem Fall ein Reduktionsmittel.



Es wird dabei Sauerstoff freigesetzt [40; 42].

9.5 Didaktischer Hintergrund

Folgender Abschnitt wurde direkt von der Seite des Rechtsinformationssystems des Bundes (RIS) übernommen und gibt den Lehrplanbezug zu den oben erwähnten Versuchen auf der Grundlage des neuen Lehrplans der Oberstufe in der Fassung vom 01.09.2018 wieder.

9.5.1 Didaktische Grundsätze (7. und 8. Klasse):

Basiskonzepte: Stoff - Teilchen, Struktur - Eigenschaft

Eingesetzte Methodik:

- Empirisches Arbeiten und erfahrungsgeleitetes Lernen, in Form von selbstständiger experimenteller Problembearbeitung, d.h. Planung, Durchführung, Dokumentation und Deutung vom Experiment.
- Lernen anhand situierter und authentischer Probleme, d.h. anknüpfen an alltäglichen Problemen und dazu motivieren neues Wissen und neue Fähigkeiten zu erwerben.
- Lernen in einem sozialen Umfeld, indem gemeinsames Lernen und Arbeiten in Gruppenarbeiten stattfindet.
- Lernen durch instruktionaler Unterstützung durch Bereitstellung von erforderlichem Wissen.
- Lernen durch Beschaffung, Bewertung und Verarbeitung von Informationen mit zeitgemäßen Medien z.B. über Internet [43].

9.5.2 Lehrstoff:

Lehrplanbezug (nach neuem Lehrplan 18/19):

Im Grunde genommen überschneiden sich die zu erwerbenden Kompetenzen in den einzelnen Kompetenzmodulen. Deshalb obliegt es der Lehrkraft, wann man auf das Thema Waschmittel und deren Inhaltsstoffe eingeht. Allerdings bietet sich die 8. Klasse für die Durchführung an, da einerseits die organische Chemie im Vordergrund steht und andererseits die meisten Schulbücher so konzipiert sind, dass das Thema Waschmittel in der 8. Klasse vorgesehen ist.

Kompetenzmodul 5 (5.Semester):

Modellbildung:

- „Die erfahrbaren Phänomene der stofflichen Welt und deren Deutung auf der Teilchenebene konsequent unterscheiden (Stoff-Teilchen-Konzept).
- Die Modelle der chemischen Bindung (inkl. delokalisierte Elektronensysteme) und der Wechselwirkungen zwischen Teilchen beschreiben und vergleichen.“ [43].

Strukturen:

- „Eigenschaften von Stoffen durch Art, Anordnung und Wechselwirkung der Teilchen erklären (Struktur-Eigenschafts-Konzept).
- Durch Kombination von Hypothesenbildung und experimenteller Überprüfung an Hand von Stoffen mit kovalenten Bindungen Zusammenhänge zwischen Strukturen und Eigenschaften der Stoffe herstellen.“ [43].

Kompetenzmodul 6 (6.Semester):

Umgang mit Materie:

- „Chemische Vorgänge im Haushalt in Abhängigkeit von den beteiligten Substanzen erklären.“ [43].

Kompetenzmodul 7 (7.Semester):

Struktur und Reaktion:

- „Zusammenhänge von Strukturen und Eigenschaften am Beispiel von Kohlenstoffverbindungen inklusive funktioneller Gruppen.“ [43]

Substanz und Energie

- „Herstellung und Verwendung wichtiger organisch-chemischer Grundprodukte darstellen.“ [43].

Bildungsziel: Die Schüler und Schülerinnen sollen in der Lage sein, die Bedeutung von Waschmitteln und deren Inhaltsstoffe zu kennen, sowie deren Wirkungsweise verstehen. In Bezug auf Waschmittel soll man einen Zusammenhang zwischen der Struktur und Eigenschaft herstellen können.

Alltagsbezug: Ein Leben ohne Waschmittel ist in der heutigen Zeit kaum noch vorstellbar. Ohne Waschmittel wäre das Wäschewaschen ein langwieriger Prozess und ein vollständiges Fleckenentfernen daher quasi unmöglich.

10. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wenn man einen farbigen Fleck auf seinem neuen weißen T-Shirt hat, die Welt nicht untergehen wird. Denn Dank der modernen Waschmittel ist es heutzutage möglich, Flecken jeder Art problemlos zu entfernen. Dennoch kommt es oft vor, dass vielleicht aufgrund falscher Dosierungen hartnäckige Flecken noch immer nicht aus der Kleidung verschwinden, dann stellen altbewährte Hausmittel eine gute Alternative dar. Beispielsweise gilt die Rasenbleiche nach wie vor als eine der beliebtesten und effektivsten Methoden zur Behandlung von speziell farbigen Flecken und konnte sich in der Versuchsreihe auch gut durchsetzen. Jedoch, wie sich z.B. beim Preiselbeerfleck herausstellte, kann oft nicht komplett auf Bleichmittel verzichtet werden, um schließlich alle Flecken restlos entfernen zu können.

Allgemein lässt sich festhalten, dass in Europa moderne Vollwaschmittel ausschließlich Bleichmittel auf Sauerstoffbasis beinhalten, welche zur Beseitigung jener farbigen Verunreinigungen dienen sollen. Dazu zählen z.B. Natriumperborat oder Natriumpercarbonat und in bestimmten Vorbehandlungsprodukten auch Wasserstoffperoxid. Allerdings wurde das Perborat heutzutage aufgrund der Borsäuresalze als reproduktionstoxisch eingestuft und ist deshalb vom Markt allmählich verschwunden. Natriumpercarbonate hingegen sind umweltverträglicher, haben aber den Nachteil, dass sie erst ab Temperaturen über 60°C wirksam werden und daher auf Bleichaktivatoren, wie TAED angewiesen sind.

In Nord- und Südamerika, Japan und Teilen von Südeuropa wird mit sehr niedrigen Temperaturen gewaschen, sodass nur Bleichmittel auf Chlorbasis wie Natriumhypochlorit wirksam sind. Leider bringt das Hypochlorit auch viele Nachteile mit sich, da es sich mit anderen Waschmittelinhaltsstoffen nicht gut verträgt, stark vom pH-Wert abhängt und beim Kontakt mit Säuren hochgiftiges Chlorgas freisetzen kann. Außerdem wird es als umweltgefährdend eingestuft und kann durch schwer abbaubare Halogenverbindungen das Abwasser stark belasten.

Ziel eines jeden Waschmittels ist es, eine Bleichwirkung auch schon bei niedrigen Temperaturen zu erzielen. Neueste Forschungen haben ergeben, dass Peroxocarbonsäuren unterhalb von 60°C eine bessere Bleichaktivität als Wasserstoffperoxid aufweisen. Diese Peroxocarbonsäuren entstehen in der Waschlauge durch die chemische Reaktion von Percarbonaten mit TAED (Peressigsäure). Es stellt sich nun die Frage, warum man diese gut abbaubaren Peroxocarbonsäuren nicht direkt als Waschmittelinhaltsstoff einsetzt?

Durch die hohe Reaktivität der Peroxocarbonsäure zieht die Verwendung in Waschmitteln noch viele Probleme mit sich, die man bisher noch nicht lösen konnte. Jedoch kam eine interessante Alternative zum Einsatz nämlich die N,N-Phthalimidoperoxyhexansäure (PAP), die bei Temperaturen um die 30-40°C eine gute Bleichwirkung erzielt und nebenbei auch noch antimikrobiell wirkt. Leider stehen der hohe Preis, die unzureichende Lagerstabilität und die Rezeptureinschränkungen für den Einsatz noch im Weg [2, S.124].

Aber es steht fest, dass sich in diesem Bereich noch viel tun wird, denn die Waschmittel sind in einer ständigen Weiterentwicklung, nicht nur in Hinsicht auf Bleichmittel, sondern auch auf andere Inhaltsstoffe. Man kann davon ausgehen, dass in einigen Jahren keine toxischen Abbauprodukte mehr zu erwarten sind, sodass nicht nur die Kleidung, sondern auch die Umwelt dabei rein bleibt.

Literaturverzeichnis

- [1] Spiegel Online. Homer: Odyssee-Kapitel 16:
<http://gutenberg.spiegel.de/buch/odyssee-1822/16> (aufgerufen 26.08.2018).
- [2] Wagner, G. (2017). *Waschmittel Chemie, Umwelt, Nachhaltigkeit*. (5.Aufl.). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- [3] Stache, H. & Großmann, H. (1992). *Waschmittel Aufgaben in Hygiene und Umwelt*. (2. Aufl.). Heidelberg: Springer-Verlag.
- [4] Planet-Wissen (2017): <https://www.planet-wissen.de/gesellschaft/sauberkeit/seife/index.html> (aufgerufen 27.08.2018).
- [5] Statistiken zu Wasch-, Putz- und Reinigungsmittel:
<https://de.statista.com/themen/1473/wasch-und-reinigungsmittel/> (aufgerufen 22.11.2018).
- [6] A.I.S.E.: <https://www.aise.eu/our-industry/market-and-economic-data-1999.aspx> (aufgerufen 22.11.2018).
- [7] Seilnacht, T. Das Phänomen der Grenzflächenspannung:
<http://www.seilnacht.com/waschm/tenside.html> (aufgerufen 01.09.2018).
- [8] Seilnacht, T. Zusammensetzung moderner Waschmittel:
<http://www.seilnacht.com/waschm/vollw.html> (aufgerufen 29.09.2018).
- [9] Wasserwerk. Wasserhärte in Österreich:
<http://www.wasserwerk.at/home/wasserqualitaet/wasserhaerte-oesterreich> (aufgerufen 02.10.2018).
- [10] Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie. Enzyme:
http://www.chemieunterricht.de/dc2/wsuh-haush/kap_046.htm (aufgerufen 06.10.2018).
- [11] Peractive, the clean and clever way of bleaching:
[https://web.archive.org/web/20130717231307/http://www.detergents-intermediates.clariant.com/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/DetergentsIntermediates_Newsroom_Brochures_Peractive.pdf/\\$FILE/DetergentsIntermediates_Newsroom_Brochures_Peractive.pdf](https://web.archive.org/web/20130717231307/http://www.detergents-intermediates.clariant.com/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/DetergentsIntermediates_Newsroom_Brochures_Peractive.pdf/$FILE/DetergentsIntermediates_Newsroom_Brochures_Peractive.pdf) (aufgerufen 3.11.2018).
- [12] Milne, N.J. (1998). Oxygen bleaching systems in domestic laundry. *Journal of surfactants and detergents*, No.2, 253-261.

- [13] ECHA, Inclusion of Substances of very high concern in the candidate list for eventual inclusion in Annex XIV: <https://echa.europa.eu/documents/10162/02bff80c-33f6-4995-a1ef-4a7c33825069> (aufgerufen 3.11.2018).
- [14] Clark, M. (2011). *Handbook of textile and industrial dyeing Volume 1: Principles, processes and types of dyes* (1.Aufl.). Philadelphia: Woodhead Publishing Limited.
- [15] Bruice, P. (2011). *Organische Chemie-studieren kompakt*. (5.Aufl.). München: Pearson.
- [16] Atkins, P. & de Paula, J. (2010). *Physikalische Chemie*. (5.Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- [17] Zeeck, A. (2014). *Chemie für Mediziner*. (8.Aufl.). München: Urban&Fischer.
- [18] Theorie der Farbigkeit: <http://www.bhbrand.de/downloads/1farbigkeit.pdf> (aufgerufen 23.10.2018).
- [19] Molecool Redaktionsteam , Eine Welt in Farbe.In: *Molecool-Die Welt der Naturwissenschaften*, Ausgabe 28, Salzburg 2012.
- [20] Ebermann, R. & Elmadfa, I. (2011). *Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung*. (2.Aufl.). Wien: Springer-Verlag.
- [21] Matissek, R. & Baltes, W. (2016). *Lebensmittelchemie*. (8.Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [22] Lange, O. (1923). *Chemisch-technische Vorschriften*. (3.Aufl.). Heidelberg: Springer-Verlag.
- [23] Dr.Beckmann. Inhaltsstoffe: https://www.dr-beckmann.com/fileadmin/data/gate/pdf/Germany/DE_Gallseife_Flecken-Spray__023-14_F.pdf (aufgerufen 18.10.2018).
- [24] C12-15 PARETH-3: <https://www.haut.de/inhaltsstoffe-inc/inci-detail/2166/> (aufgerufen 22.10.2018).
- [25] Österreichisches Lebensmittelhandbuch: <http://www.lebensmittelbuch.at/essig-balsamessige-salatwuerzen-saure-wuerzen-essigessenz-saucen-cremen-zubereitungen-auf-essigbasis-andere-essigaehnliche-wuerzmittel/> (aufgerufen am 19.10.2018).

- [26] Chemiezauber. Entkalken mit Essig:
<https://www.chemiezauber.de/inhalt/basic-5-kl-10-kohlenstoffverbindungen-organische-chemie-2/carbonsaeuren/essig/429-slide/583-entkalken-mit-essig.html> (aufgerufen am 19.10.2018).
- [27] Stiftung Warentest. Weiße Wäsche: Was gegen den Grauschleier hilft:
<https://www.test.de/Weisse-Waesche-Was-gegen-den-Grauschleier-hilft-4505405-0/> (aufgerufen am 21.10.2018).
- [28] Eigenschaften der Citronensäure:
http://www.chemieunterricht.de/dc2/citrone/c_t6.htm (aufgerufen 21.10.2018).
- [29] Seifenkraut: <https://www.kraeuter-buch.de/kraeuter/Seifenkraut.html> (aufgerufen 1.11.2018).
- [30] Was Alkohol zu Brennspritus macht: <http://www.chemieunterricht.de/dc2/r-oh/alk-spirit.htm> (aufgerufen 22.10.2018).
- [31] Schenk B, Oh Schreck, ein Kernölfleck!. In: *Molecool-Die Welt der Naturwissenschaften*, Ausgabe 48, Salzburg 2017.
- [32] Tinte: <http://www.chemie.de/lexikon/Tinte.html> (aufgerufen 10.01.2019).
- [33] Deckwer, W.D., Pühler, A. & Schmid, R. (1999). *Römp-Lexikon Biotechnologie, Gentechnik*. (2.Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- [34] Lippenstift: <https://www.haut.de/inhaltsstoffe-inc/produktgruppe/38/> (aufgerufen 12.01.2019).
- [35] Lösungsmittel: <http://www.chemieunterricht.de/dc2/r-oh/alk-loemi.html> (aufgerufen 12.01.2019).
- [36] Preiselbeere:
https://www.apotheker.or.at/internet/OEAK/NewsPresse_1_0_0a.nsf/agentEmergency!OpenAgent&p=BED51A9ED59B4FBFC1256EEB004777B6&fsn=fsStartHomeFachinfo&iif=0 (aufgerufen 12.01.2019).
- [37] Schulversuch-Nachweis von Bleichmittel in Waschmitteln:
<http://www.unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/material/5-6/V5-88.pdf> (aufgerufen 14.01.2019).

- [38] Sicherheitsdatenblatt Kaliumpermanganat:
https://www.carlroth.com/downloads/sdb/de/P/SDB_P752_CH_DE.pdf (aufgerufen 25.01.2019).
- [39] Sicherheitsdatenblatt Schwefelsäure:
https://www.carlroth.com/downloads/sdb/de/4/SDB_4623_DE_DE.pdf (aufgerufen 25.01.2019).
- [40] Warum wird die Wäsche so sauber?. In: Chemie & Schule, Heft Nr. 4, Salzburg 2017, *sämtliche Informationen zum Experiment wurden dem Fortbildungsprogramm ChemLab aus der Zeitschrift Chemie und Schule entnommen.*
- [41] Clipart einer Titration: <https://openclipart.org/detail/225578/titration-mit-burette-und-erlenmeyerkolben> (aufgerufen 25.01.2019)
- [42] Redoxreaktionen mit Wasserstoffperoxid:
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/vermisch/h2o2.htm> (aufgerufen 25.01.2019).
- [43] Neuer Lehrplan:
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568&FassungVom=2018-09-01> (aufgerufen 14.01.2019).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Marktanteile der verschiedenen Waschmitteltypen von ausgewählten europäischen Ländern [2, S.211].....	17
Abbildung 2: Unterschiede zwischen amerikanischen, japanischen und europäischen Waschmaschinen [2, S.21].....	17
Abbildung 3: Schematischer Aufbau von Tensiden [2, S.51].	19
Abbildung 4: Micellenbildung [7].....	21
Abbildung 5: Pentanatriumtriphosphat [2, S.107].	29
Abbildung 6: Ionenaustausch im Zeolith A [2, S.109].....	30
Abbildung 7: Natriumsalz der Carboxymethylcellulose (CMC) [2, S.131].	33
Abbildung 8: Polyestereinheit [2, S.131].....	34
Abbildung 9: Polyethereinheit [2, S.131].	34
Abbildung 10: Isophthalsäureeinheit [2, S.131].	34
Abbildung 11: Polyvinylpyrrolidon (PVP) [2, S.134].....	35
Abbildung 12: Copolymer aus Vinylpyrrolidon und Vinylimidazol [2, S.134].	35
Abbildung 13: Strukturausschnitt von Polyvinylalkohol (PVAL) [2, S.136].....	36
Abbildung 14: Beispiel eines Phosphonates: Aminotrismethylen-trisphosphorsäure (ATMP) [2, S.140].....	37
Abbildung 15: Methylglycindiessigsäure - Trinatriumsalz (MGDA) [2, S.141].....	37
Abbildung 16: Tetranatriumglutamatdiacetat (GLDA) [2, S.141].....	38
Abbildung 17: Natriumperborat [3, S.67-69].....	41
Abbildung 18: Möglicher Bleichvorgang auf Sauerstoffbasis [2, S.119].	43
Abbildung 19: Wirkung von TAED und Bildung von Peressigsäure [2, S.121].	46
Abbildung 20: Bildung von Pernonansäure aus Natrium-p-nonanoyloxybenzolsulfonat (NOBS) [2, S.122].....	46
Abbildung 21: Mn-TACN: 1,4,7 - Trimethyl - 1,4,7 - triazacyclononan - Mangan(IV) – Komplex [2, S.123].	47
Abbildung 22: Acylhydrazon [2, S.123].....	48
Abbildung 23: Mechanismus der Chlorbleiche [14, S.123].	50
Abbildung 24: Elektronenübergänge [15, S.513].....	52
Abbildung 25: β -Carotin [20, S.217].....	55
Abbildung 26: Metallporphyrine: Chlorophyll und Häm [20, S.236; 15, S.871].	56
Abbildung 27: Chinone [20, S.226].	57
Abbildung 28: Flavon mit Chromon und γ -Pyron [21, 582-585].	57
Abbildung 29: Anthocyane [21, 582-585].....	58
Abbildung 30: Betalaine [2, S.116].....	58
Abbildung 31: Cholsäure [17, S.286].....	60
Abbildung 32: Citronensäure [28].....	63
Abbildung 33: Seifenkraut [29].....	64
Abbildung 34: Saponin, Strukturformel von β -Aescin ($C_{55}H_{86}O_{24}$) [2, S.68].....	64
Abbildung 35: Stoffstück mit verschiedenen Testflecken.	66
Abbildung 36: Flecken vor der Behandlung mit Gallseife.	67
Abbildung 37: Flecken nach der Behandlung mit Gallseife.....	67

Abbildung 38: Flecken vor der Behandlung mit Seifenkraut.	69
Abbildung 39: Flecken nach der Behandlung mit Seifenkraut.	69
Abbildung 40: Flecken vor der Behandlung mit Citronensäure.	70
Abbildung 41: Flecken nach der Behandlung mit Citronensäure.	70
Abbildung 42: Flecken vor der Behandlung mit Essig.	71
Abbildung 43: Flecken nach der Behandlung mit Essig.	71
Abbildung 44: Flecken vor der Behandlung mit dem Intensiv-Entfärber.	72
Abbildung 45: Flecken nach der Behandlung mit dem Intensiv-Entfärber.	72
Abbildung 46: Flecken vor der Behandlung mit dem Gebissreiniger.	74
Abbildung 47: Flecken nach der Behandlung mit dem Gebissreiniger.	74
Abbildung 48: Flecken vor der Behandlung mit dem Backpulver.	75
Abbildung 49: Flecken nach der Behandlung mit dem Backpulver.	75
Abbildung 50: Flecken vor der Behandlung mit Vanish Oxi Action.	76
Abbildung 51: Flecken nach der Behandlung mit Vanish Oxi Action.	76
Abbildung 52: Flecken vor der Behandlung mit Spiritus.	77
Abbildung 53: Flecken nach der Behandlung mit Spiritus.	77
Abbildung 54: Flecken vor Rasenbleiche.	78
Abbildung 55: Flecken nach ca. 5 Stunden Rasenbleiche.	78
Abbildung 56: Flecken nach Rasenbleiche und Waschprozess.	78
Abbildung 57: Reagenzgläser.	84
Abbildung 58: Vergleich der Kontrollprobe (1) mit den Farbveränderungen nach Zugabe von Colorwaschmittel (2), flüssigem Vollwaschmittel (3), pulverförmigen Vollwaschmittel (4) und Flüssigseife (5).	86
Abbildung 59: Natriumperborat [3, S.67-69].....	87
Abbildung 60: Natriumpercarbonat.....	87
Abbildung 61: Wasserstoffperoxid.	87
Abbildung 62: Aufbau einer Titration [41].....	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Rezeptur von pulverförmigen Waschmitteln [2, S.96].	18
Tabelle 2: anionische Tenside [2, S.55].....	23
Tabelle 3: kationische Tenside [2, S.69].	24
Tabelle 4: nichtionische Tenside [2, S.63].	26
Tabelle 5: amphotere Tenside [2, S.70].....	26
Tabelle 6: Einteilung der Wasserhärte [8].	28
Tabelle 7: Zusammenhang zwischen absorbierter und beobachteter Farbe [15, S.518].	53
Tabelle 8: Auswertung der Vorbehandlungen.	81
Tabelle 9: Gefahrenstoffe [37].	84
Tabelle 10: Funktionsbausteine und Inhaltsstoffe von Waschmitteln.....	85
Tabelle 11: Zuordnung der Funktionsbausteinen und Inhaltsstoffen zu Voll- und Colorwaschmittel.....	88
Tabelle 12: Gefahrenstoffe [38; 39].	90
Tabelle 13: Ergebnistabelle (Arbeitsblatt).	91