

## Hinweis

Bei dieser Datei handelt es sich um ein Protokoll, das einen Vortrag im Rahmen des Chemielehramtsstudiums an der Uni Marburg referiert. Zur besseren Durchsuchbarkeit wurde zudem eine Texterkennung durchgeführt und hinter das eingescannte Bild gelegt, so dass Copy & Paste möglich ist – aber Vorsicht, die Texterkennung wurde nicht korrigiert und ist gerade bei schlecht leserlichen Dateien mit Fehlern behaftet.

Alle mehr als 700 Protokolle (Anfang 2007) können auf der Seite [http://www.chids.de/veranstaltungen/uebungen\\_experimentalvortrag.html](http://www.chids.de/veranstaltungen/uebungen_experimentalvortrag.html) eingesehen und heruntergeladen werden.

Zudem stehen auf der Seite [www.chids.de](http://www.chids.de) weitere Versuche, Lernzirkel und Staatsexamensarbeiten bereit.

Dr. Ph. Reiß, im Juli 2007

513

Experimentalvortrag zum Thema

Holz

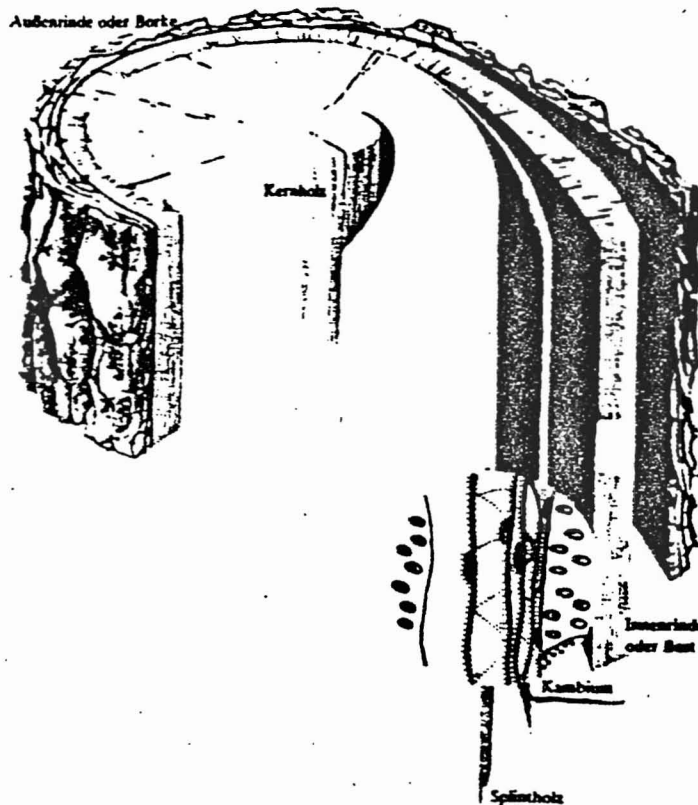
von Anke Hochmuth

vorge stellt am 24.5.95

## Experimentalvortrag zum Thema "Das Holz"

### Holz - eine Definition

- a) In der Botanik definiert man Holz als ein pflanzliches Gewebe, das vom Kambium (lat. *cambiare*: wechseln) gebildet wird. Das Kambium ist ein geschlossener Zylinder, der nach außen und innen Zellen abgliedert. Die nach innen abgegebenen Zellen bilden ein Dauergewebe, das Holz, die nach außen abgegebenen Zellen den Bast bzw. die Rinde. Die biologische Definition ist unabhängig vom Verholungsgrad. Holz muß nicht unbedingt fest und hart sein. Auch ein Rettich ist botanisch gesehen eine Holzrube.



- b) Chemiker definieren Holz als einen morphologisch und chemisch uneinheitlichen Stoff.

## Chemische Bestandteile des Holzes

Die Zusammensetzung von Holz variiert bei verschiedenen Hölzern sehr stark. Außerdem gibt es große Unterschiede zwischen der Zusammensetzung von Laubbäumen und der von Nadelbäumen. Nadelhölzer z.B. bestehen aus:

45 - 50 % Cellulose

25 - 30 % Lignin

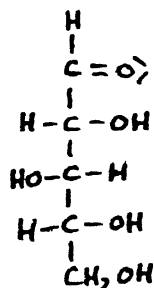
15 - 20 % Polyosen (Hemicellulosen)

und aus den sogenannten Holzinhaltstoffen:

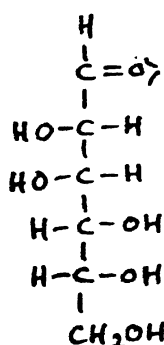
Harze, Wachse, Phenole, Gerbstoffe, Farbstoffe, Eiweiße, Mineralstoffe, Fette, Proteine (letzte als Nährstoffe im Splintholz gespeichert), Wasser.

## Die Polyosen

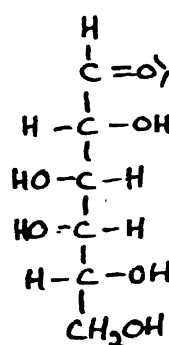
Polyosen treten stets mit Cellulose vergesellschaftet und vor allem in den Zellwänden auf. Sie sind Polysaccharide, die im Gegensatz zur Cellulose aus Hexosen und Pentosen aufgebaut sind. Typische Grundbausteine der Polyosen sind z.B.



D-Xylose



D-Mannose

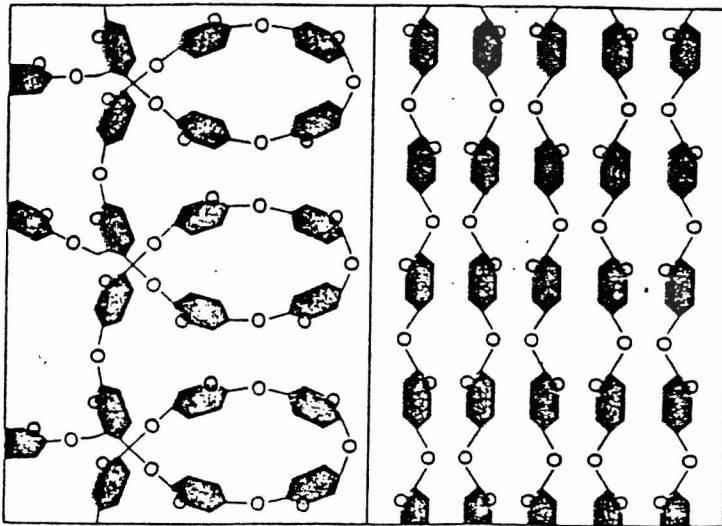


D-Galaktose

## Die Cellulose

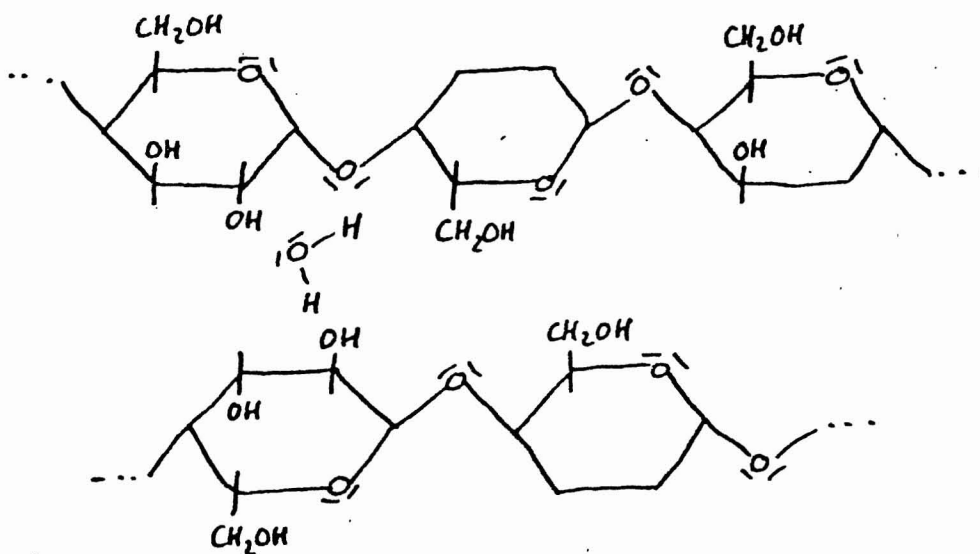
Im Gegensatz zur Stärke, in der die D-Glucose-Moleküle  $\alpha(1,4)$ -glucosidisch verknüpft sind, sind sie in der Cellulose  $\beta(1,4)$ -glucosidisch verknüpft. Dies hat entscheidende Auswirkungen auf den räumlichen Bau. Die Stärke liegt in Form von Helices vor (Skizze a), die Cellulose bildet lineare Moleküle aus (Skizze b).

Mehrere Cellulosestränge lagern sich zu Mikrofibrillen zusammen, da zwischen den Hydroxylgruppen benachbarter Stränge Wasserstoffbrückenbindungen ausgebildet werden können. Auch Wassermoleküle können durch Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Cellulosesträngen eingelagert werden.



Skizze a

Skizze b



### Versuch 1a: Nachweis der Cellulose

Chemikalien: Chlorzinkiodlösung (10ml Wasser, 20g Zinkchlorid, 6,5g Kaliumiodid, 1,3g Iod)  
 Holz  
 Toilettenpapier  
 Schreibpapier  
 Glaswolle

#### Durchführung und Beobachtung:

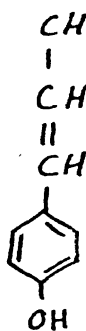
Auf Holz, Toilettenpapier und Schreibpapier wird etwas Chlorzinkiodlösung aufgetragen. Die behandelten Stellen färben sich blau bis violett. Ist die Lösung zu konzentriert, so wird das Blau durch die Eigenfarbe der Lösung überdeckt, die Farbe wirkt dann grau. Durch kurzes Abspülen mit Wasser kann die überflüssige Lösung entfernt und der Blauton sichtbar gemacht werden.

Als Blindprobe gibt man etwas Chlorzinkiodlösung auf Glaswolle. Die Eigenfarbe der Lösung wird sichtbar (hellbraun).

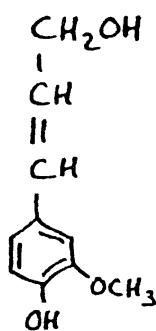
Der Mechanismus der Farbreaktion ist noch nicht vollständig geklärt. Angenommen wird, daß die Cellulosemoleküle auseinanderweichen und in die entstehenden Zwischenräume Polyiodidionen eingelagert werden, ähnlich der Iod-Stärke-Reaktion.

### Das Lignin

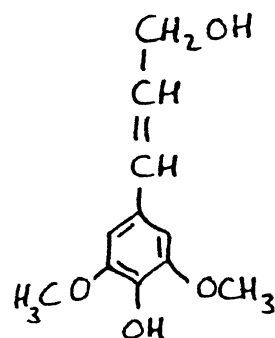
In der Natur entsteht das Ligninmolekül durch Dehydrierung und anschließende Polymerisation folgender monomerer Ausgangsstoffe:



Cumarylalkohol

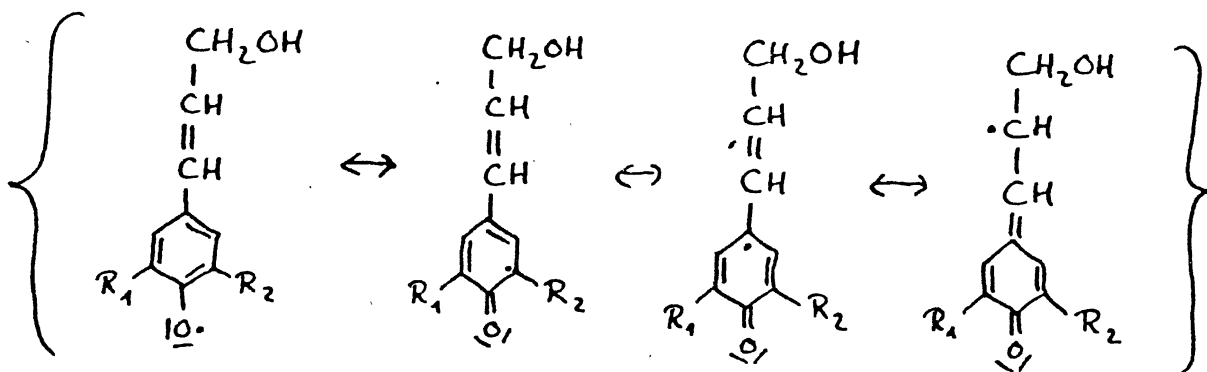


Coniferylalkohol



Sinapylalkohol

Die enzymatische Dehydrierung liefert Radikale mit folgenden Grenzstrukturen:



Radikale sind sehr reaktionsfreudig, aber wenig selektiv in ihren Angriffen. Daher entsteht bei der Polymerisation eines der komplexesten natürlichen Polymere.

Die Polymerisation findet zwischen den Cellulosefasern der Zellwand statt. Auf diese Weise bildet sich eine drei-dimensionale Kittsubstanz, die verantwortlich für die Stabilität und Härte des Holzes ist.

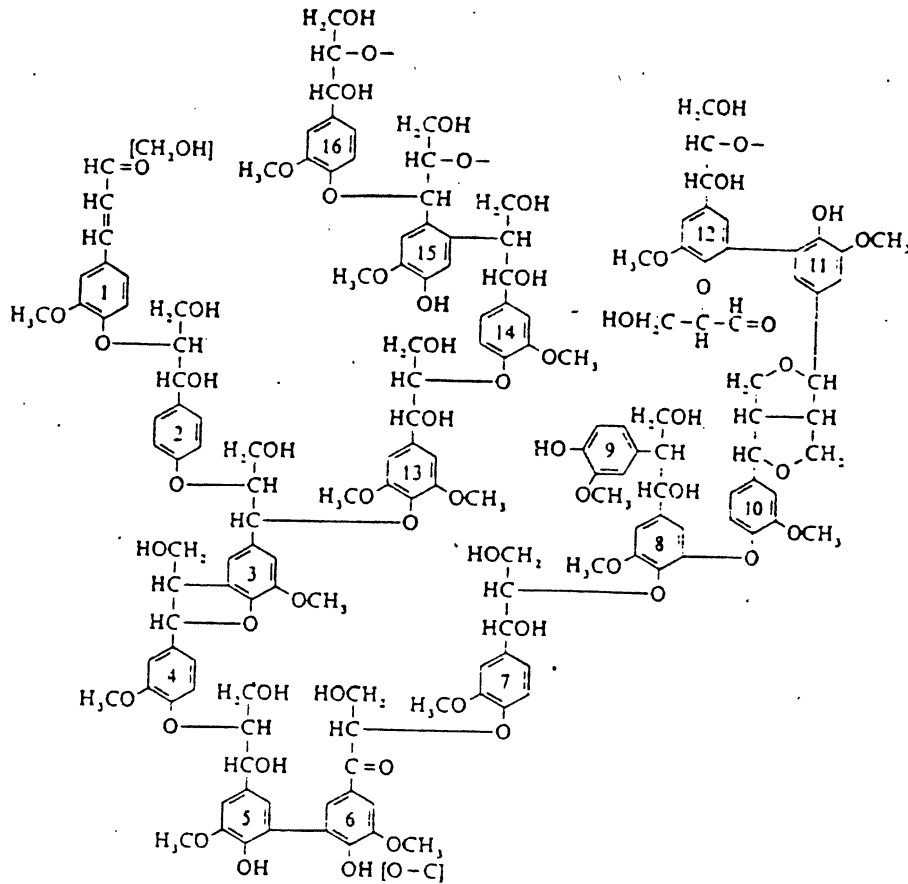


Figure 2. Structural model of spruce lignin [3]

### Versuch 1b: Nachweis von Lignin

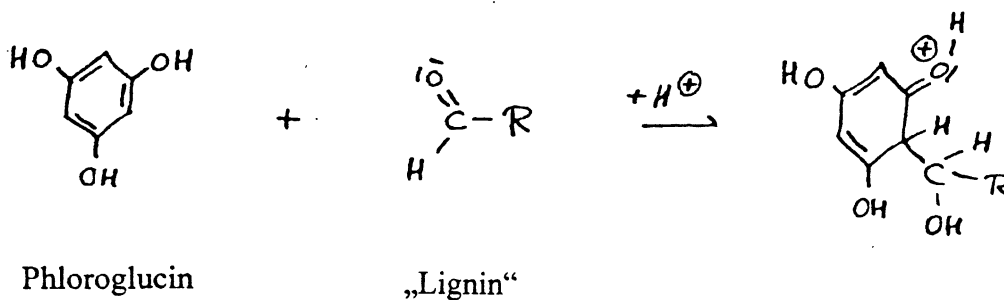
Chemikalien: Phloroglucinlösung (eine Spatelspitze 1,3,5-Trihydroxybenzol wird in 2-3ml konz. Salzsäure gelöst)

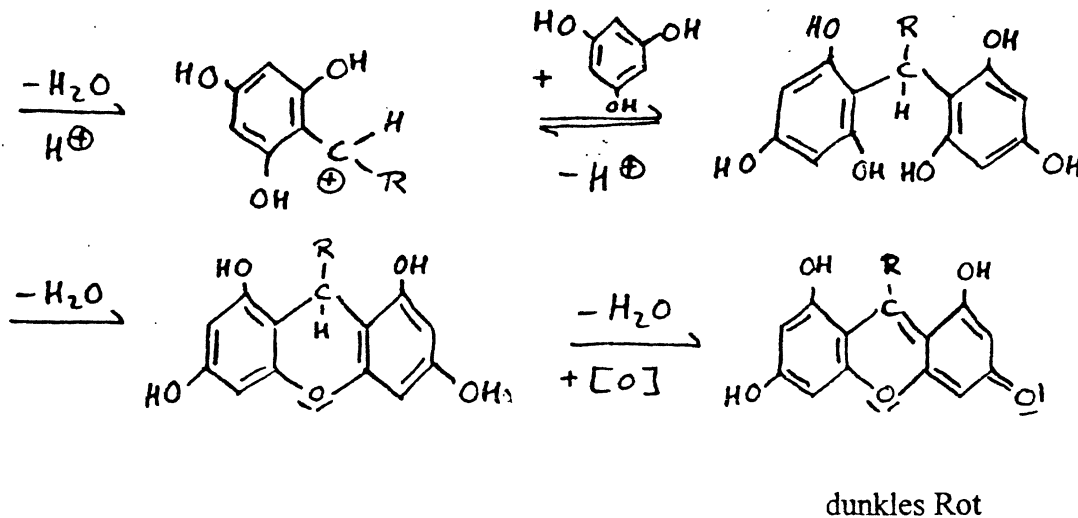
Holz, Toilettenpapier, Schreibpapier

Durchführung und Beobachtung:

Auf Holz, Toilettenpapier und Schreibpapier wird etwas Lösung aufgetragen. Holz und Toilettenpapier färben sich violett, das Schreibpapier nimmt lediglich die Eigenfarbe der Lösung an (Blindprobe). Schreibpapier hat eine sehr gute Papierqualität und ist daher praktisch ligninfrei.

Der Mechanismus der zur Färbung führenden Reaktion sieht wie folgt aus:





### Die Gerbstoffe

Stellvertretend für die Holzinhaltstoffe sollen hier die Gerbstoffe nachgewiesen werden. Gerbstoffe werden eingesetzt, um leichtverderbliche, fäulnisfähige und hornartig auf trocknende tierische Hautsubstanzen (wie z.B. aus Häuten und Fellen) in widerstandsfähiges Leder zu verwandeln. Früher wurden bei der Gerbung nur Pflanzenextrakte verwendet. Heute gibt es auch synthetische Gerbstoffe. Bei natürlichen Gerbstoffen unterscheidet man hydrolysierbare und kondensierte Gerbstoffe. Hydrolysierbare Gerbstoffe werden auch Gallusgerbsäuren genannt, da sie oft Ester von Gallussäure und Monosacchariden sind (s.Abb.).

#### Versuch 2:

Chemikalien: Holzmehl  
Wasser  
1%ige Gelatinelösung

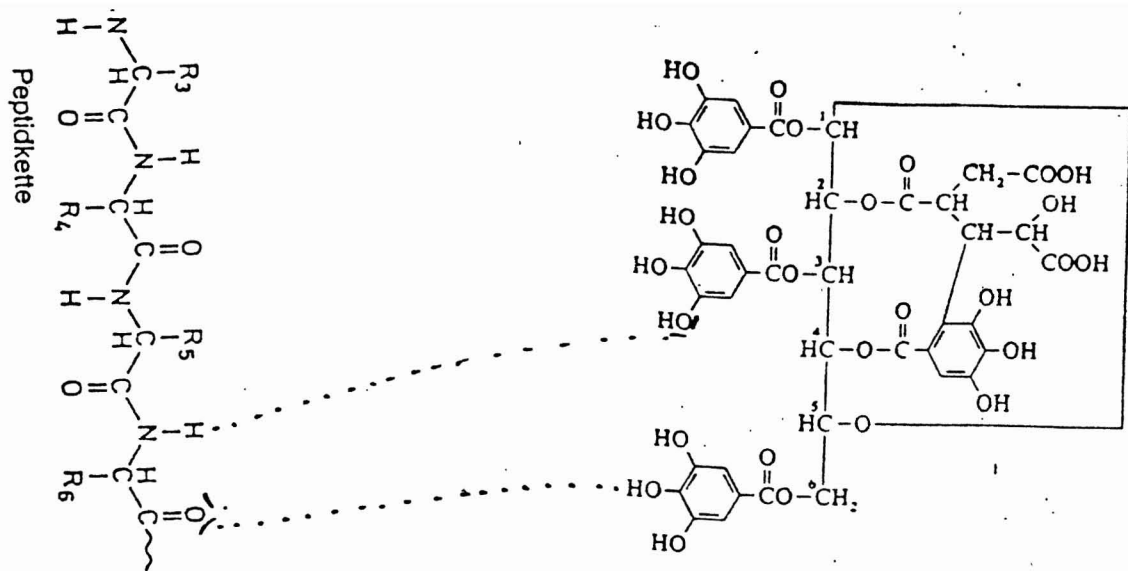
Geräte: Magnetrührer, Erlenmeyerkolben, Demonstrationsreagenzglas, Schnellauftrichter  
Becherglas

#### Durchführung und Beobachtung:

5g Holzmehl werden in ca. 50ml Wasser 15 Minuten zum Sieden erhitzt. Dabei ersetzt man jeweils soviel Wasser, daß sich nach der Reaktionszeit noch 20-25ml Wasser im Erlenmeyerkolben befinden. Das erhaltene Filtrat ist bräunlich, schwach sauer und schmeckt bitter. Bei Zugabe von etwas Filtrat zu der 1%igen Gelatinelösung fallen Proteine weiß bis gelblich aus.

#### Der Vorgang der Gerberei

Pflanzliche Gerbstoffe sind schwache Säuren, die mit Kollagen bzw. Gelatine (Polypeptide) Salze bilden können. In erster Linie aber werden Nebervalenzbindungen zwischen den phenolischen Hydroxylgruppen der Gerbstoffmoleküle und den Peptidgruppen der Polypeptide ausgebildet. Daraus resultiert die Verfestigung des Substanzgitters und die Versteifung der Fasern, in Versuch 2 das Ausfallen der Proteine.



### Verwendungsmöglichkeiten von Holz

Auf der Erde gibt es ca. 4 Mrd ha Wald, d.h. ungefähr 330 Mrd m<sup>2</sup> Holz. Jährlich findet ein Holzeinschlag von ungefähr 3 Mrd m<sup>2</sup> statt. Immer noch nutzen zwei Drittel der Weltbevölkerung Holz zur Deckung des häuslichen Energiebedarfs (Heizen, Kochen) und verbrauchen dabei ca. 2 Mrd m<sup>2</sup> Holz.

Die Differenz von 1 Mrd m<sup>2</sup> Holz wird also anderweitig, in erster Linie von Industrienationen, genutzt.

1) Holz kann chemisch unverändert in Form von Brettern, Balken, Stangen, Spanplatten ... als Baustoff genutzt werden.

2) Holz kann thermisch behandelt werden, um anschließend als Holzkohle verwendet zu werden.

Schon sehr früh stellten die Menschen fest, daß Holz durch Erhitzen unter Luftabschluß in Holzkohle übergeht und entwickelten die Meiler. Die bei der Köhlerei entstehenden Gase sind brennbar und wurden im Zweiten Weltkrieg eingesetzt, um Autos anzutreiben (Holzgasantrieb).



Bei der trockenen Destillation entstehen folgende Reaktionsprodukte:

Gase: Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Methan, Wasserstoff

Flüssigkeiten: Holzgeist (Methanol), Holzessig (Essigsäure), Holzteer

Feststoffe: Holzkohle ("Aktivkohle")

### Versuch 3 (trockene Destillation):

Chemikalien: Sägespäne (Katzenstreu)

Reagenzlösung für CO-Nachweis (zu  $\text{AgNO}_3$ -Lsg,  $c=1 \text{ mol/L}$ , wird solange Ammoniaklösung gegeben, bis sich der entstehende Niederschlag wieder löst.)

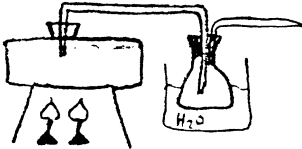
Bromthymolblaulösung

Geräte: 2 Bunsenbrenner, Dreifuß, Keksblechdose, Korkstopfen, Glasrohr,

Erlenmeyerkolben mit Gummistopfen, Becherglas, Glasstab, Feuerzeug, Trichter und Filterpapier, 2 Demonstrationsreagenzgläser

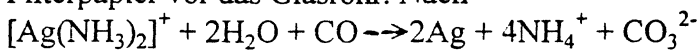
Durchführung und Beobachtung:

Aufbau:



Die Keksdose wird an zwei Stellen erhitzt. Kurz darauf beobachtet man braune Dämpfe in den Glasrohren. Nun zündet man die entweichenden Gase an und zeigt so ihre Brennbarkeit.

Nachdem die Flamme ausgeblasen wurde, hält man ein mit Reagenzlösung getränktes Filterpapier vor das Glasrohr. Nach



entsteht ein dunkler Niederschlag von metallischem Silber.

Die adsorbierende Wirkung der entstandenen Holzkohle kann wie folgt gezeigt werden:

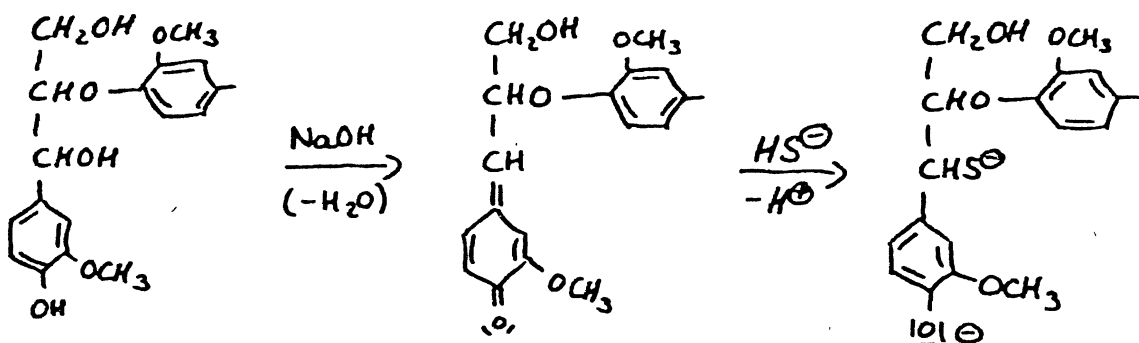
Die Hälfte der Bromthymolblaulösung wird in ein Demonstrationsreagenzglas gefüllt. Die andere Hälfte verrührt man mit der Holzkohle und filtriert ab. Das Filtrat ist nun weniger intensiv gefärbt als die Ausgangslösung.

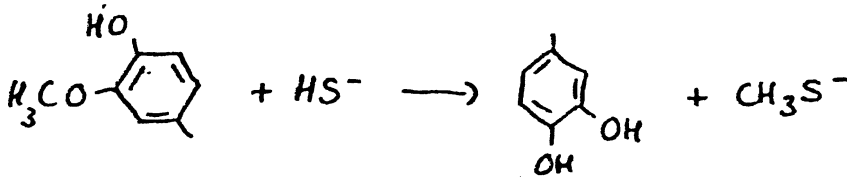
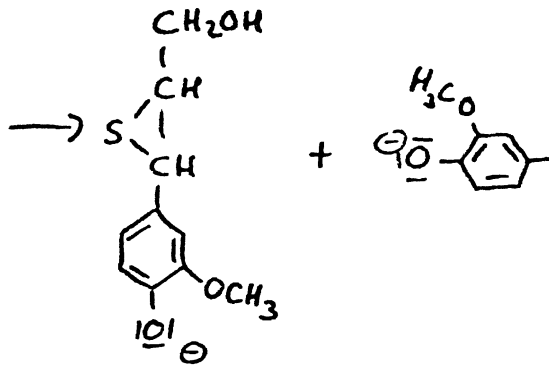
3) Holz kann auf mehrere Arten chemisch behandelt werden, woraus unterschiedliche Produkte resultieren.

#### 3.1: Papierherstellung

Bei der Papierherstellung möchte man möglichst viel Lignin aus dem Holz entfernen, um reine Cellulose zu erhalten. Ohne Lignin ist der entstehende Zellstoff bzw. das entstehende Papier fester, da sich die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Cellulosesträngen besser ausbilden können, und die Produkte vergilben weniger stark.

Meist kommt das Sulfatzellstoffverfahren zur Anwendung, bei dem  $\text{NaOH}$  und  $\text{Na}_2\text{S}$  im Verhältnis 4:1 eingesetzt werden. Bei einem Druck von 4 bar finden folgende Ligninabbaureaktionen statt:





Das 1,2-Dihydroxybenzol wird durch Luftsauerstoff zu Chinonen oxidiert, was die braune Farbe der Lösung hervorruft. Zum Teil werden diese zu Carbonsäuren weiteroxidiert. Im Vortrag wurde ein neueres, umweltfreundlicheres Verfahren demonstriert.

Versuch 4a (Papier- bzw. Zellstoffherstellung):

Aufschlußverfahren in organischen Lösungsmitteln:

Chemikalien: 200 ml 90%ige Essigsäure  
8 ml konz. Salzsäure  
10 g Holzspäne  
2 ml Wasserstoffperoxid

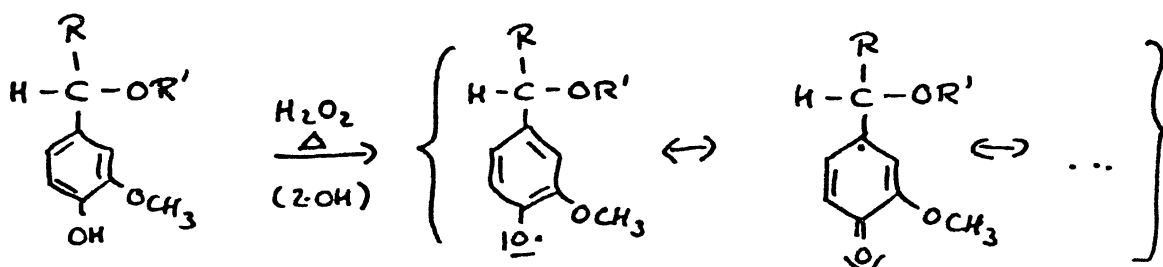
Geräte: Rückflußapparatur mit 500 ml-Kolben, Magnetrührer, Ölbad, Kontaktthermometer, Rührfisch

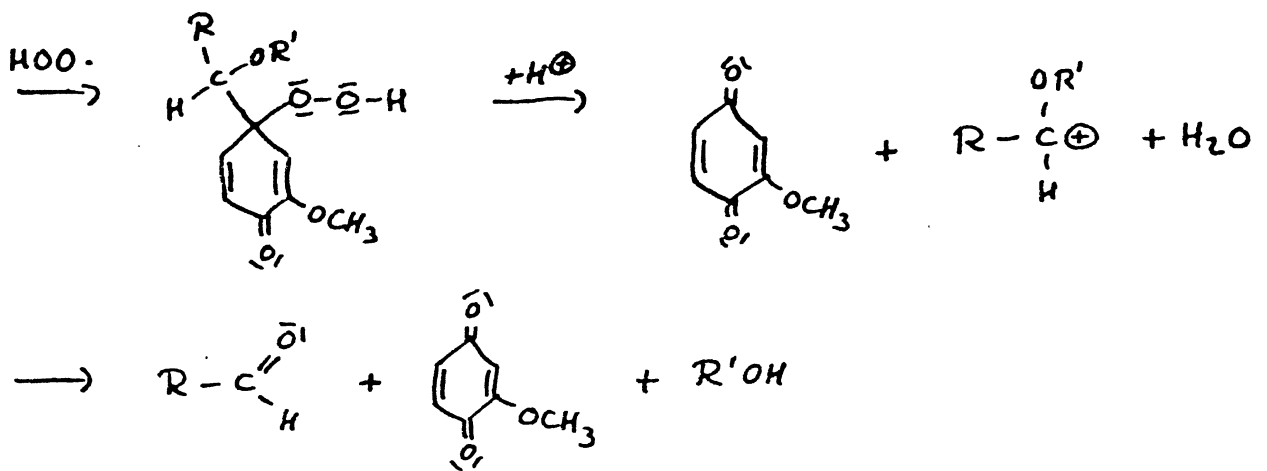
Durchführung und Beobachtung:

Aufbau: Rückflußapparatur mit Rührfisch

10 g Holzspäne werden 4 Stunden lang mit 200 ml Eisessig und 8 ml Salzsäure bei 110°C unter Rückfluß gekocht. Gegen Ende der Reaktionszeit werden 2 ml Wasserstoffperoxid hinzugefügt. Die Lösung färbt sich während des Aufschlusses dunkelbraun und man erhält einen braunen „Zellstoff“.

Das Restlignin bzw. halbabgebaute Lignintteile (sichtbar an brauner Färbung des Zellstoffs) versucht man in mehreren Bleichvorgängen aufzuspalten und so abzubauen. Verwendet werden dazu in erster Linie Chlor, Chlordioxid, Sauerstoff, Ozon und Wasserstoffperoxid. Bei Einsatz von Wasserstoffperoxid als Bleichmittel finden folgende Abbaureaktionen statt:





Es entstehen wieder chinoide Systeme, die die gelbbraune Färbung der Lösung hervorrufen.

#### Versuch 4b (Bleichen):

Chemikalien: 2g brauner Zellstoff  
50ml Wasserstoffperoxid  
1ml Eisessig

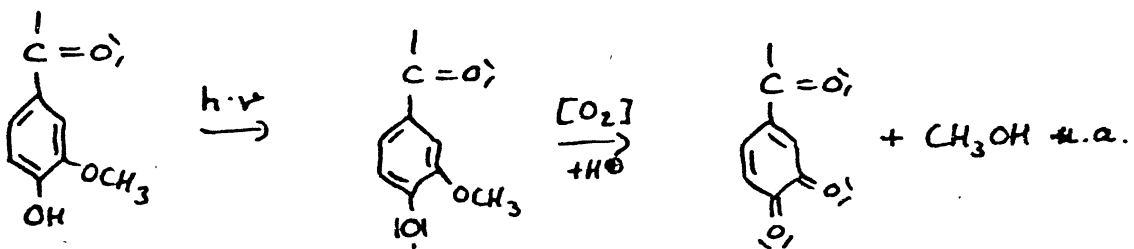
Geräte: Becherglas, Dreifuß, Drahtnetz, Glasstab, Bunsenbrenner, Metallsieb (Küchensieb)

Durchführung und Beobachtung:

1g Zellstoff wird mit 50ml Wasserstoffperoxid und 1ml Eisessig auf dem Dreifuß mit einem Bunsenbrenner erhitzt. Die Lösung sprudelt und färbt sich gelb. Nach kurzer Zeit wird durch ein Metallsieb abfiltriert und mit Wasser ausgewaschen. (Je länger man kocht, umso intensiver die Bleiche.) Man erhält einen heller braunen Zellstoff, der nach 5-6maliger Bleiche in einen „weißen“ Zustand übergeht. Aus diesem Zellstoff läßt sich dann Papier herstellen.

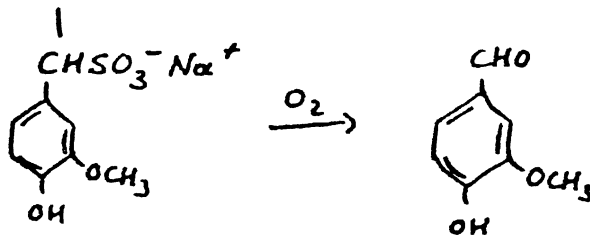
Zur Veränderung des Papiers sei hier noch folgendes erwähnt:

In Anwesenheit von Sauerstoff und Tageslicht verfärbt sich Papier im Lauf von Jahren gelblich. Diese photochemische Färbung wird durch Absorption ultravioletten Lichts von - Carbonylgruppen ausgelöst:



chinoide Chromophore  
(gelb)

Ebenfalls nach längerer Zeit kann auch ein Vanilleduft, insbesondere bei schlechter Papierqualität, festgestellt werden. Ligninsulfonsäuren, die vor allem bei einem Holzsulfitaufschluß entstehen, werden langsam zu Vanillin oxidiert:



Ligninsulfonat

Vanillin

#### Restbestimmung von Lignin:

Um die Qualität eines Papiers feststellen zu können wird in der Industrie der Ligningehalt bestimmt. Dieser wird in Form von Kappazahlen angegeben. Eine Kappaeinheit entspricht dabei 0,115 - 0,120 % Lignin. Wie aus den Werten ersichtlich ist, arbeitet das industrielle Verfahren nicht sehr genau. Dieses soll nun demonstriert werden.

#### Versuch 5 (Restbestimmung von Lignin):

Chemikalien: 1g Toilettenpapier

800ml Wasser

100ml Kaliumpermanganatlösung,  $c = 0,02 \text{ mol/L}$

100ml Schwefelsäure,  $c = 2 \text{ mol/L}$

20ml Kaliumiodidlösung,  $c = 1 \text{ mol/L}$

Natriumthiosulfatlösung,  $c = 1 \text{ mol/L}$

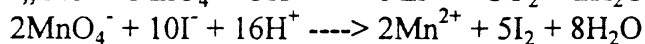
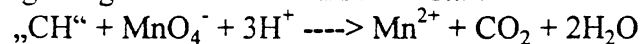
Stärkelösung

Geräte: Mixer, 2-L-Becherglas, Magnetrührer, Rührfisch, Stoppuhr, Bürette, 4 100ml-Meßkolben

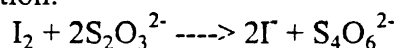
#### Durchführung und Beobachtung:

1g Toilettenpapier wird mit 200ml Wasser im Mixer dispergiert und in das Becherglas überführt. Mit dem restlichen Wasser wird der Mixer ausgespült und das Becherglas aufgefüllt. Die Kaliumpermanganatlösung und die Schwefelsäure werden gleichzeitig schnell zur Suspension gegeben. Nach genau 10 Minuten werden 20ml Kaliumiodidlösung zugegeben und das freiwerdende Iod mit Natriumthiosulfatlösung zurücktitriert. Zur besseren Endpunkt erkennung (rotgelb  $\rightarrow$  weiß) wird kurz vorher Stärkelösung zugegeben.

Auswertung: Folgende Reaktionen finden statt:



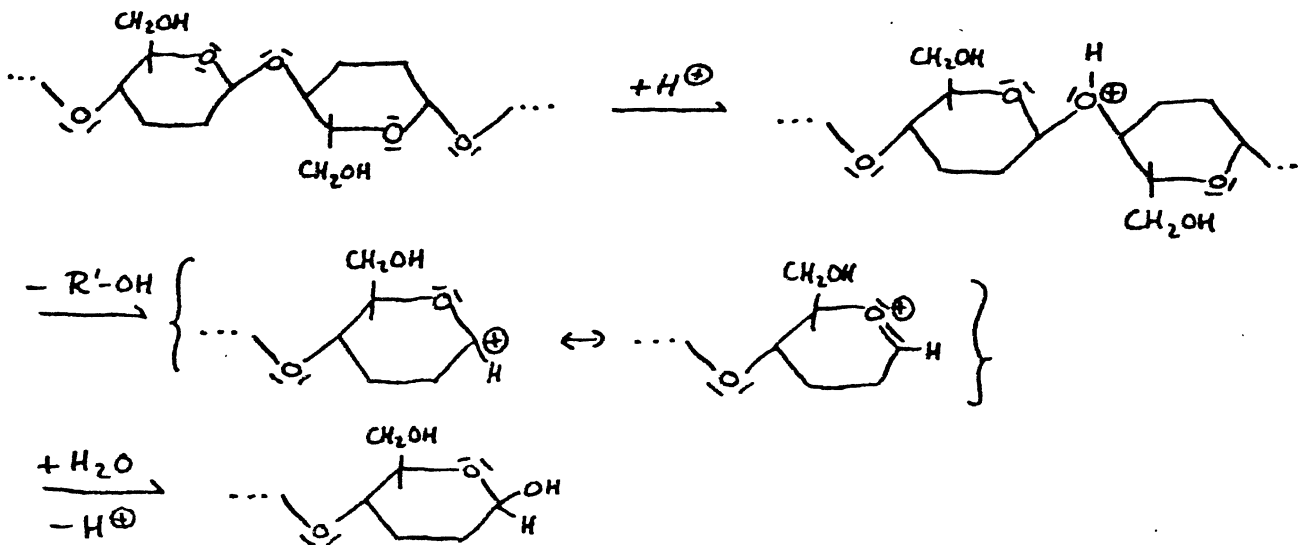
Rücktitration:



Der Verbrauch sei 9,6ml Thiosulfatlösung. Dies entspricht 9,6mmol Thiosulfat, also wurden 4,8mmol Iod zurücktitriert, d.h. 1,92 mmol Permanganat wurden nicht umgesetzt. 2mmol-1.92mmol = 0,08mmol permanganat haben mit Lignin reagiert, das entspricht 4ml Permanganatlösung. Industriell festgelegt entspricht nun einem Milliliter Permanganatlösung ein Kappa. Man erhält also einen Kappawert von 4, was einem Prozentsatz von 0,44 bis 0,48% entspricht. Berücksichtigt man, daß nach dem Sulfatverfahren erhaltener Zellstoff noch bis zu 3% Lignin enthalten kann, ist dieser Wert für Toilettenpapier realistisch.

### 3.2 Holzverzuckerung

Holz enthält Zucker in Form von Cellulose. Diese Makromoleküle können unter Säureeinwirkung aufgespalten werden. Es entsteht  $\alpha$ -D-Glucose:



Versuch 6a (Holzverzuckerung):

Chemikalien: 30ml 80%ige Schwefelsäure  
5g Holzmehl  
300ml Wasser  
Calciumcarbonat

Geräte: Rückflußanlage mit 500ml-Kolben, Rührfisch und Kontaktthermometer, pH-Papier, Büchnertrichter und Filter, Saugflasche

Durchführung und Beobachtung:

In den 500ml-Kolben werden 30ml Schwefelsäure vorgelegt und in kleinen Portionen 5g Holzmehl eingetragen. Nach 2,5 Stunden verdünnt man mit 300 ml Wasser und erwärmt 4 Stunden lang unter Rückfluß auf  $100^\circ\text{C}$ . Dabei färbt sich die Lösung braun. Nach Erkalten filtriert man ab und neutralisiert das Filtrat mit festem Calciumcarbonat. Das entstandene Calciumsulfat wird abgesaugt. Beim Eindampfen des Filtrates bleibt eine verunreinigte, leicht bräunliche Glucose zurück. Diese kann wie folgt nachgewiesen werden:

Versuch 6b (Nachweis von Glucose):

i) durch Chromatographie

Chemikalien: Fließmittel (2-Propanol, 2-Butanon, Dimethylformamid, Wasser im Verhältnis 10:5:1:4 (v/v))

Sprühreagenz Anilinphtalat (0,98g Anilin + 1,66g Phthalsäure in 100ml wassergesättigtem n-Butanol)

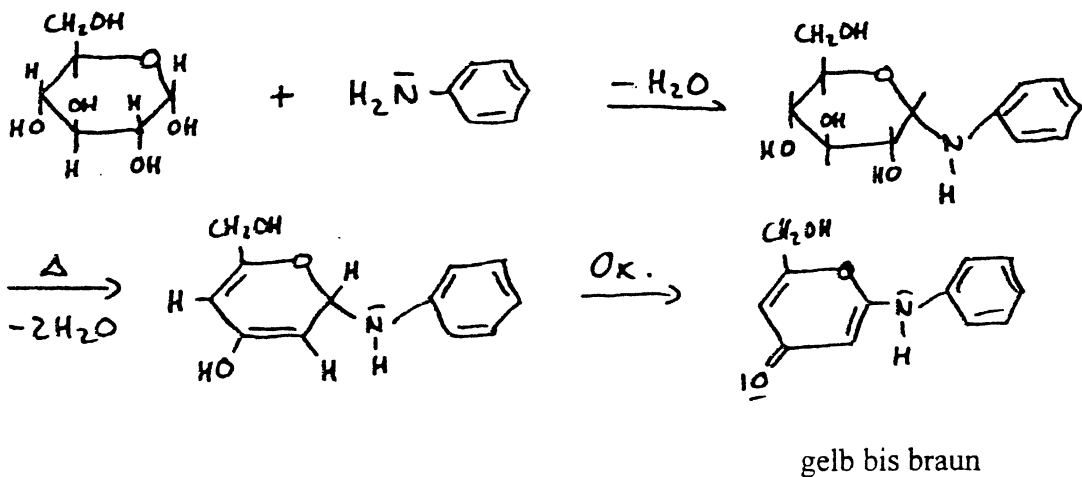
Glucoselösungen,  $w = 0,01$  (reine Glucose und Präparat)

Geräte: Chromatographiekammer, DC-Karte 5 auf 10 cm, Kapillaren, Föhn, Trockenschrank, Sprühgerät

Durchführung und Beobachtung:

Die Glucoselösungen werden mit Kapillaren auf die DC-Karten aufgetragen und in der mit Fließmittel gefüllten DC-Kammer entwickelt. Nach dem Trockenföhnen wird die DC-Karte mit dem Sprühreagenz besprüht und bei  $110^{\circ}\text{C}$  15 Minuten lang in den Trockenschrank gelegt. Anschließend zeigen sich braune Flecken mit Rf-Werten um 0,8.

Die Färbung wird durch folgende Reaktion hervorgerufen:



ii) durch Gärung

Chemikalien: 10%ige Glucoselösung

Hefe

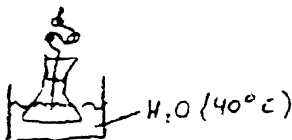
Bariumhydroxidlösung

Geräte: Erlenmeyerkolben, Becherglas, Magnetrührer, Rührfisch, Gärröhrchen,

Gummistopfen

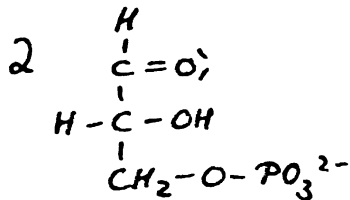
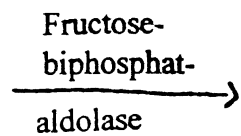
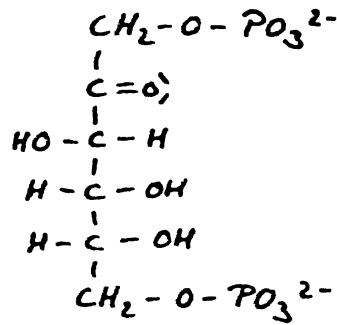
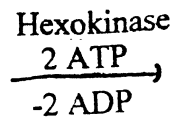
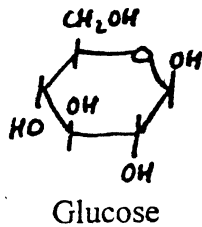
Durchführung und Beobachtung:

Aufbau:

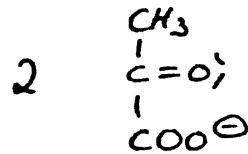
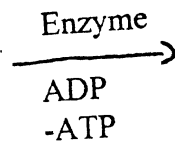


Das Wasserbad wird langsam auf  $40^{\circ}\text{C}$  erwärmt. Anschließend gibt man etwas Hefe in die Glucoselösung und verschließt den Erlenmeyerkolben mit dem Gärröhrchen, das mit Bariumhydroxid gefüllt wird. Nach kurzer Zeit trübt sich die Bariumhydroxidlösung aufgrund des ausfallenden Bariumcarbonates.

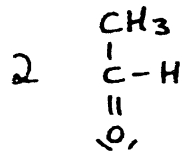
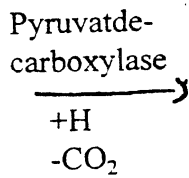
Stark gekürzt läßt sich die enzymatische Gärung so beschreiben:



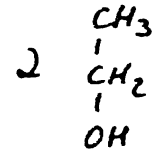
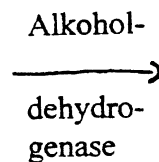
Glucerialde-  
hyd-3-phosphat



Pyruvat



Acetaldehyd



Ethanol

### 3.3 Viskose (Kunstfasern)

Zur Zeit der Jahrhundertwende wurden dringend neue Fasern benötigt, jedoch konnten synthetische Fasern nicht in reiner Form gewonnen und in genügend lange Fasern umgearbeitet werden. Man lernte bald aus dem Grundstoff Holz sehr reine, aber kurzfasrige Cellulose herzustellen und erarbeitete dann Verfahren, diese zu lösen und aus der Lösung in praktisch unbegrenzt langen Fäden wiederzugewinnen.

Versuch 7 (Herstellung von Viskose):

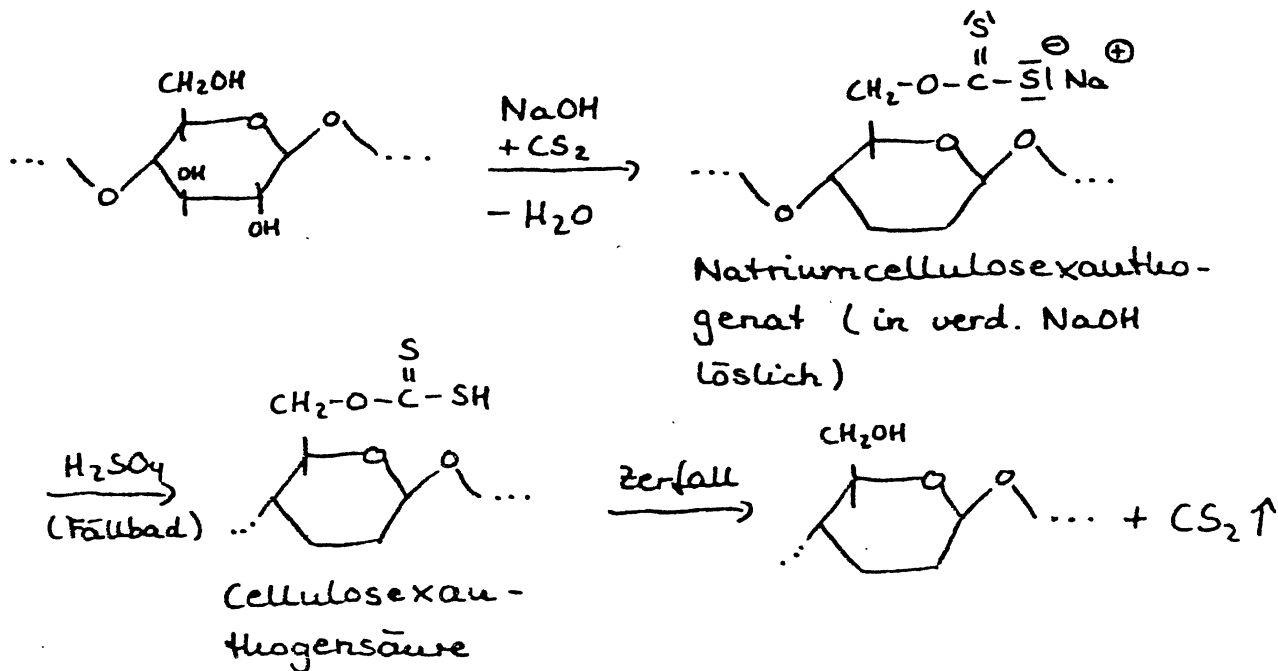
Chemikalien: 10ml 18%ige Natronlauge  
 10ml Kohlenstoffdisulfid (Achtung sehr giftig!)  
 3g Filterpapier  
 2,5%ige Natronlauge  
 15%ige Schwefelsäure

Geräte: 250ml-Erlenmeyerkolben mit passendem Stopfen, Gummistopfen und Glasrohr,  
 Glasstab, Petrischale, Sprühballon

### Durchführung und Beobachtung:

3g Filterpapier werden in kleine Stücke gerissen und in dem Erlenmeyerkolben mit Natronlauge benetzt. Dann gibt man Kohlenstoffdisulfid hinzu, verschließt mit einem Stopfen und läßt über Nacht stehen (Farbübergang von weiß nach orange). Das entstandene Cellulosexanthogenat wird in 2,5%iger Natronlauge gelöst (so viel zugeben, daß die Lösung noch leicht viskos ist). Mit der Sprühapparat drückt man die orange Lösung in die mit Schwefelsäure gefüllte Petrischale. Die Cellulose fällt weiß aus. Bei dünn ausgezogener Spitze entstehen dünne, lange Viskosefäden.

Die Reaktionen laufen nach folgenden Mechanismen ab:



Zeitschriften:

Chemie in unserer Zeit  
1976, S.21-29  
Gerhard Krüger  
Lignin-seine Bedeutung und Biogenese

Naturwissenschaften  
1981, S.250-258  
Wolfgang Höll  
Zur Physiologie verholzter Achsen

Naturwissenschaftliche Rundschau  
1983, S.153-157  
Gerd Wegener  
Stand und Entwicklungstendenzen bei der Herstellung von Zellstoff und  
Holzschliff

research  
1992 / 6, S.62-67  
Der Stoff aus dem die Bäume sind

Naturwissenschaftliche Rundschau  
1987, S.341-351  
Sandermann  
Der lange Weg zum Papier

Praxis der Naturwissenschaften Chemie  
1992, Heft 7, S.1-41  
versch. Autoren  
Themenheft: Holz, Zellstoff, Papier

## Literaturliste

### Nachschlagewerke:

Römpps Chemielexikon  
Prof. Dr. Jürgen Falbe, Prof. Dr. Manfred Regitz  
9. Auflage, 1989-1992  
Georg-Thieme-Verlag - Stuttgart, New York

Ullmanns Encyclopedia of industrial Chemistry  
Wolfgang Gerhartz ...  
5. Auflage, 1985-...  
VCH-Verlagsgesellschaft - Weinheim

### Bücher:

Lehrbuch der organischen Chemie  
Beyer-Walter  
Stuttgart 1991  
Hirzel Verlag

Organische Chemie  
Christen-Vögtle  
Frankfurt 1992, 1.+2. Band  
Otto Salle + Sauerländer Verlag

Biochemie der Pflanzen  
Kindl, Wober  
Berlin, Heidelberg, New York 1975  
Springer Verlag

Chemie experimentell  
Felix Lindenblatt  
Göttingen 1965  
Industrie-Druck GmbH