



Stärke und Cellulose

Anna-Lena Waldmann, SS 09; Jana Dettenhöfer, WS 2021/22

Gliederung

1	Vorkommen und Gewinnung	1
1.1	Pflanzliche/Native Stärke.....	1
1.2	Cellulose.....	2
2	Struktur-Vergleich.....	3
2.1	Struktur von Amylose und Amylopektin	3
2.2	Struktur von Cellulose	5
3	Nachweis-Reaktionen.....	6
3.1	Stärke-Nachweis mit Iod-Kaliumiodid-Lösung (Lugolsche Lösung).....	6
3.2	Cellulose-Nachweis mit Zinkchlorid / Lugolsche Lösung	6
4	Modifizierte Stärke und Cellulose	6
4.1	Acetylierte Stärke	7
4.2	Methylcellulose	7

Einstieg: Beim Pudding scheiden sich die Geister: Manche lieben ihn mit Haut, andere können die Haut auf dem Pudding nicht ausstehen und scheinbar gerade dann, wenn der Pudding schon länger in der Regalen der Mensa steht, bleiben die kleinen Schälchen vermehrt stehen. In einer Welt, in der gerade die „Natürlichkeit“ voll im Trend ist, stehen die Ansprüche an die Lebensmittel im Widerspruch zu unseren Lebensstilen – doch welchen Beitrag leistet die Puddinghaut dazu? Die Lösung hat mit der im Pudding enthaltenen Stärke zu tun.

1 Vorkommen und Gewinnung

Stärke ist nicht nur Kalorienträger, sondern auch Binde-, Gelier- und Dickungsmittel und damit unter anderem auch im Pudding enthalten. Das heißt sie beeinflusst die Konsistenz und die Textur einer Speise, wie eben auch beim Verdicken eines Puddings. Aber sie erleichtert auch die homogene Verteilung von verschiedenen Komponenten und erhöht die Stabilität von Fett/Wasser-Emulsionen.

1.1 Pflanzliche/Native Stärke

Allgemein ist die Stärke quantitativ das bedeutsamste Kohlenhydrat und der Energiespeicher von Pflanzen. Pflanzliche Stärke ist ein Assimilationsprodukt der Pflanze und wird im Calvin-Zyklus, der Teil des Photosynthese-Mechanismus ist, hergestellt. Stärke dient der Pflanze als Reservestoff und wird tagsüber produziert, anschließend an die entsprechenden Speicher-Orte der Pflanze transportiert und nachts verbraucht. Stärke tritt in

vielen Gewebe-Typen auf, wobei die großen Ansammlungen sich meist in Samen, Knollen oder der Wurzel befinden, weshalb diese für die Stärke-Gewinnung auch von besonderer Bedeutung sind. Pflanzliche Stärke wird hauptsächlich aus Kartoffeln (siehe Abb. 2), Mais, Reis und Getreide (siehe Abb. 1) gewonnen und ist das wichtigste Grundnahrungsmittel für den Menschen.

Der Mais ist dabei die Pflanze mit der größten lebensmitteltechnologischen Bedeutung. Er besteht zu 65 % aus Stärke. Doch auch Kartoffeln mit einem Stärkeanteil von 15 %, Weizen mit einem Anteil von 75 % oder Reis mit fast 90 % Stärke sind für die Lebensmittelindustrie von großer Bedeutung. Alle diese Stärken werden direkt aus den pflanzlichen Rohstoffen gewonnen – man bezeichnet sie deswegen als native Stärken. Je nach Art unterscheiden sich die Eigenschaften der nativen Stärke und sie werden deswegen auch für unterschiedliche Lebensmittel verwendet.

Wer seinen Pudding selbst macht, und kein Puddingpulver verwendet, der sollte aufpassen: Denn Kartoffelstärke eignet sich etwa nicht zur Herstellung von schnittfesten Puddings oder Süßspeisen, weil es nach dem Kochen mit Wasser oder Milch nicht zu Gelbildung kommt – Maisstärke bildet im Gegensatz dazu ein Gel, das sturz- und schnittfähig ist.

Generell sind native Stärken wenig stabil und aus diesem Grund wird der Großteil aller Stärken modifiziert.



Abb. 1: Getreide [18]



Abb. 2: Kartoffeln [19]

1.2 Cellulose

Cellulose ist ebenfalls ein pflanzliches Produkt und ist der häufigste organische Stoff der Erde. Sie ist Haupt-Bestandteil der pflanzlichen Zellwände und dient dort der Festigung. Pflanzliche Zellen brauchen stabile Zellwände, damit sich in der Zelle ein bestimmter Druck durch Wasser-Einstrom in die Vakuole aufbauen kann. Durch diesen Druck, auch Turgor genannt, ist die Pflanze auch ohne Skelett in der Lage sich aufrecht zu halten. Für den Menschen ist Cellulose als Nahrungsmittel weniger interessant als beispielsweise für die Textil- oder Zellstoff-Industrie, da Cellulose vom Magen-Darm-Trakt des Menschen nicht aufgeschlossen werden kann und somit nur als Ballaststoff dient. Cellulose wird für die Textil-Industrie hauptsächlich aus Baumwolle (siehe Abb. 3: Eukalyptus - Baum als Rohstoff für Cellulose [17] (links) und Abb. 4) und für die Zellstoff-Industrie aus dem Holz der Nadel-Bäume oder Eukalyptus-Bäume (siehe Abb. 3) gewonnen.



Abb. 3: Eukalyptus - Baum als Rohstoff für Cellulose [17] (links) und Abb. 4: Baumwolle als Rohstoff für Cellulose [16] (rechts)

2 Struktur-Vergleich

Stärke und Cellulose sind Polysaccharide – also „Mehrfachzucker“, mit dem Grundbaustein der D-Glucose. Der Unterschied liegt in der Verknüpfung der einzelnen Bausteine:

- Bei der Cellulose sind die Bausteine über β -1,4-glykosidische Verknüpfungen verbunden.
- Bei der Stärke sind die einzelnen D-Glucose-Einheiten miteinander durch α -1,4-glykosidische Verknüpfungen zu Ketten verbunden. Bei diesen Verbindungen lassen sich zwei verschiedene Arten an Polysaccharid-Ketten unterscheiden: Amylose und Amylopektin.

2.1 Struktur von Amylose und Amylopektin

Stärke ist ein Polysaccharid aus D-Glucose-Monomeren, die α -1,4-glykosidisch verknüpft sind. In Stärkekörnern liegt sie in zwei unterschiedlichen Formen vor: Amylopektin und Amylose. Die beiden Bestandteile haben unterschiedliche Eigenschaften:

Amylopektin ist durchschnittlich aus 6000 Glucose-Einheiten aufgebaut, die in verzweigten Ketten miteinander verbunden sind. Neben den α 1,4-glykosidischen Verknüpfungen sind die Glucose-Einheiten auch durch α -1,6-glykosidische Verknüpfungen miteinander verbunden – daraus ergibt sich ein weit verzweigtes Polymernetzwerk. Deswegen bildet Amylopektin keine geordneten Überstrukturen aus.

Amylose ist durchschnittlich aus 1000-4500 Glucose-Einheiten aufgebaut, die ausschließlich α -1,4-glykosidisch miteinander verknüpft sind. Deshalb gibt es keinerlei Verzweigungen und es kann sich eine schraubenartige Struktur ausbilden – die so genannte Helix. Eine Windung einer solchen Helix wird aus etwa sechs Glucose-Monomeren gebildet. Eine Übersicht über diese Eigenschaften gibt Tabelle 1.

In den Hohlraum können dann Fremdatome – wie zum Beispiel Iod – eingelagert werden. Diesen Effekt macht man bei der Iodprobe (siehe 3.1) nutzen.

	Amylose	Amylopektin
Makroskopische Struktur	linear, helical	Verzweigt, helical
Bausteine	100 – 1400 α -Glucose-Monomere	1200 – 6200 α -Glucose-Monomere
Bindungsart	α -1,4-glykosidische Verknüpfung (vgl. Abb. 7)	α -1,4-glykosidische Verknüpfung, nach ca. 25 Monomeren eine α -1,6-glykosidische Verzweigung (vgl. Abb. 7)

Tabelle 1: Amylose und Amylopektin im Vergleich

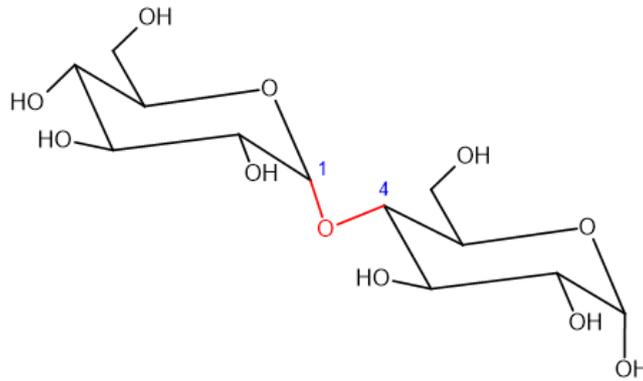


Abb. 5: α -1,4-glykosidische Verknüpfung

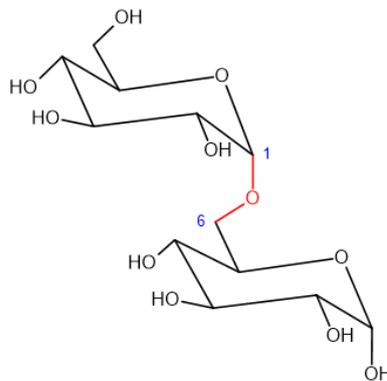


Abb. 6: α -1,6-glykosidische Verknüpfung

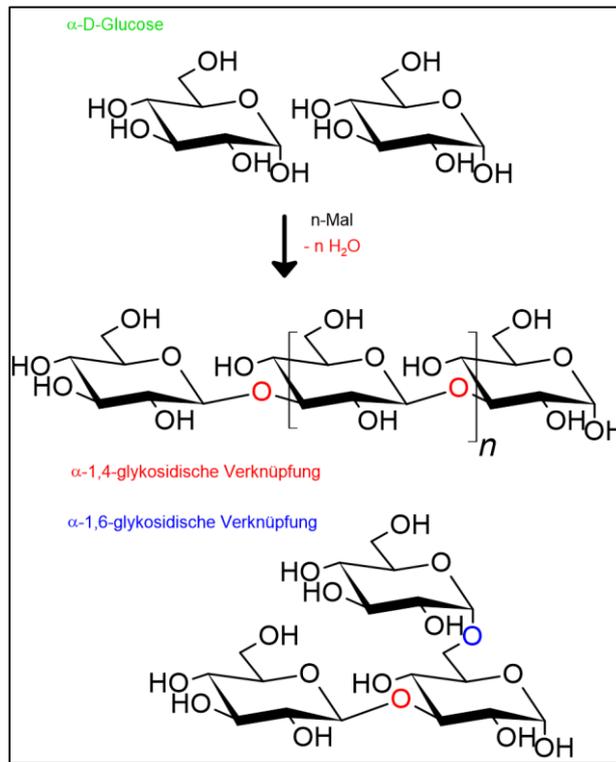


Abb. 7: Kondensation der α -D-Glucose

2.2 Struktur von Cellulose

Cellulose ist anders als pflanzliche Stärke aus β -Glucose-Molekülen aufgebaut.

	Cellulose
Makroskopische Struktur	linear
Bausteine	100 – 10.000 β -Glucose-Monomere
Bindungsart	β -1,4-glykosidische Verknüpfung

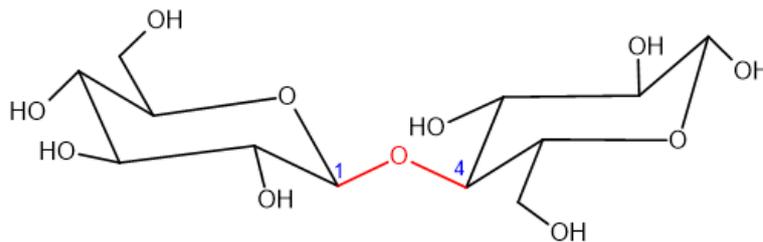


Abb. 8: β -1,4-glykosidische Verknüpfung

3 Nachweis-Reaktionen

3.1 Stärke-Nachweis mit Iod-Kaliumiodid-Lösung (Lugolsche Lösung)

Material:

- Becherglas
- Pasteur-Pipette, Hütchen
- Wasser-Kocher

Chemikalien:

- geschälte, halbierte **Kartoffel**
- **Lugolsche Lösung** (Iod-Kaliumiodid-Lösung)
- **Wasser**



Achtung

H373
P260, P314

Vorbereitung: Das Kartoffel-Stück in das Becherglas legen und mit heißem Wasser übergießen.

Durchführung: Einige Tropfen Lugolsche Lösung zu der Lösung tropfen bis eine deutliche Blau-Färbung zu erkennen ist.

Beobachtung: Die Lösung und Teile der Kartoffel färben sich blau.

Erklärung: Aus der Iod-/Kaliumiodid – Lösung bilden sich Polyiodid-Ionen. Diese können sich auf der polaren Innenseite der Amylose – Helix anlagern. Der entstandene Charge-Transfer-Komplex erscheint violett/blau.

3.2 Cellulose-Nachweis mit Zinkchlorid / Lugolsche Lösung

Material:

- weißes Blatt Papier
- Pasteur-Pipette, Hütchen

Chemikalien:

- **Zinkchlorid/Lugolsche Lösung**, gesättigt



Gefahr

H314, H410

P260, P301+P330+P331, P303+P361+P353, P305+P351+P338, P405

Durchführung: Einige Tropfen Zinkiodid-Lösung auf das weiße Papier geben.

Beobachtung: Blau-Färbung des Papiers

Erklärung: Polyiodid-Ionen lagern sich zwischen die Cellulose-Ketten an. Grund der Farb-Änderung sind delokalisierte Valenz-Elektronen der Polyiodid-Ionen und zusätzlich Komplex-Bildung zwischen den Zink-Atomen und den Hydroxyl-Gruppen der Cellulose bzw. den Polyiodid-Ionen.

4 Modifizierte Stärke und Cellulose

Vom Masseverhältnis von Amylopektin und Amylose hängen die Eigenschaften ab, die für die Lebensmittelindustrie wichtig sind. Das sind vor allem Scher-, Säure-, Enzym-, und die Gefrier-Tau-Stabilität. Native Stärken befriedigen diese Eigenschaften nur wenig

und vor allem in Hinblick auf den Einsatz von Stärken als Bindemittel - wie im Puddingpulver - ist eine Erhöhung der Stabilität erforderlich. Durch gezielte Modifikationen können die Eigenschaften dann den wachsenden Anforderungen angepasst werden.

Modifizierte Stärken sind Stärken, die durch chemische, physikalische oder biochemische Methoden verändert worden sind. Dabei unterscheidet man drei verschiedene Arten der Modifikation.

- Thermische Modifikation: Bei thermisch behandelten Stärken bleibt die prinzipielle chemische Struktur und teilweise auch die Kornstruktur aufrechterhalten.
- Derivatisierung: Bei derivatisierten Stärken wird die Reaktivität der freien Hydroxygruppen der Stärke ausgenutzt – diese können zum Beispiel zu Stärkeethern oder Stärkeestern oder oxidiert werden. Man kann mehrere dieser Veränderungen an der Stärke durchführen, je nachdem in welchem Anwendungsgebiet die Stärke später eingesetzt werden soll.
- Hydrolyse der Acetalbindung: Dadurch können Stärken mit kleineren Molmassen hergestellt werden. Sie können aber auch in ihre einzelnen Zucker-Baueinheiten aufgespalten werden. Dann spricht man nicht mehr von modifizierten Stärken, sondern von verzuckerten Stärken.

4.1 Acetylierte Stärke

Acetylierte Stärke wurde an einer oder mehreren Hydroxyl-Gruppen (hier gezeigt am C6-Atom) der α -Glucose verestert. Modifizierte Stärke hat den Vorteil gegenüber natürlicher Stärke, dass sie z. B. hitzebeständiger und säurestabiler ist. Somit ist eine bessere Verarbeitung in der Lebensmittel-Industrie möglich.

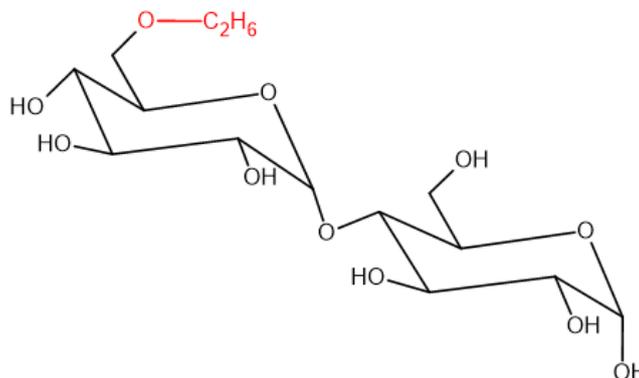


Abb. 9: Acetylierte Stärke

4.2 Methylcellulose

Bei Methylcellulose wurde ebenfalls eine oder mehrere Veresterungen an Hydroxyl-Gruppen der Glucose-Monomere (hier gezeigt am C6-Atom) vorgenommen. Methylcellulose wird vor allem als Zusatz in Tapeten-Kleister oder als Verdickungsmittel und Emulgator in Nahrungsmitteln und Kosmetik-Artikeln verwendet.

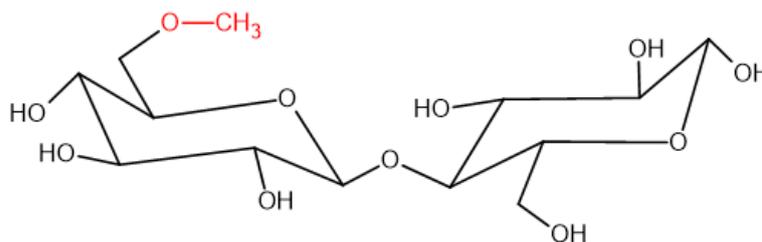


Abb. 10: Methylcellulose

Zusammenfassung: Cellulose und pflanzliche Stärke sind in ihren Nutzungsmöglichkeiten sehr unterschiedlich. Stärke dient dem Menschen als Grund-Nahrungsmittel, während Cellulose aufgrund des nicht vorhandenen Nährwert-Gehalts eher als Textil- und Zellstoff-grundlage verwendet wird. Die chemische Betrachtung des Aufbaus zeigt jedoch einige Ähnlichkeiten. Beide Makro-Moleküle sind aus Glucose-Monomeren aufgebaut. Die Bestandteile der Stärke, die spiralförmige Amylose und das verzweigte Amylopektin bestehen aus α -Glucose-Monomeren, die α -1,4-glykosidische bzw. α -1,6-glykosidisch miteinander verknüpft sind. Die lineare Cellulose ist aus β -Glucose-Monomeren aufgebaut, die β -1,4-glykosidisch verbunden sind. Strukturell liegt der Unterschied der beiden Makro-Moleküle also lediglich in der räumlichen Orientierung der Hydroxyl-Gruppe am C1-Atom der Glucose-Moleküle, sowie der Verknüpfungsweise der Glucose-Monomere. Zur Verbesserung der chemischen und physikalischen Eigenschaften werden die natürlichen Formen der Stärke und Cellulose modifiziert (z. B.: acetylierte Stärke, Methylcellulose).

Abschluss: Die Vermeidung von Puddinghaut ist einer der vielen Ansprüche, die der Verbraucher an die Lebensmittelindustrie stellt. Diese versucht den Ansprüchen gerecht zu werden und verwendet dazu zum Beispiel modifizierte Stärken. Dabei steht das „Natürliche“ in der modernen Gesellschaft immer mehr im Vordergrund und das Grundnahrungsmittel Stärke wird mittlerweile auch als biologisch abbaubares Verpackungsmaterial verwendet. Ob diese Entwicklungen in Zukunft vielleicht dazu führen, dass wir ein Paket auspacken und dabei gleichzeitig das Verpackungsmaterial frühstücken können?

Quellen:

1. Charles E. Mortimer, Ulrich Müller, Basiswissen der Chemie, 2003, Thieme-Verlag
2. Peter C. Vollhardt, Neil E. Schore, Organische Chemie, 1995, VCH
3. Habermehl, Hammann, Krebs, Ternes, Naturstoffchemie, 2008, Springer
4. Elmar Weiler, Lutz Nover, Allgemeine und molekulare Botanik, 2008, Thieme-Verlag
5. <http://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/reagenzl.htm>, zul. aufgerufen am 01.02.2022
6. <http://netexperimente.de/chemie/99.html>, (Quelle nicht mehr verfügbar am 01.02.2022)
7. <http://www.berd-leitenberger.de/zusatzst.shtml>, (Quelle nicht mehr verfügbar am 01.02.2022)
8. http://www.foodnews.ch/x-plainmefood/20_lebensmittel/cellulose.html, (Quelle nicht mehr verfügbar am 01.02.2022)
9. <http://www.chemienet.info/4-kh3.html>, zul. aufgerufen am 01.02.2022
10. Clemens, A. (25. Juni 2018). Warum bildet Pudding Haut? Abgerufen am 8. Juni 2021 von Spektrum.de: <https://www.spektrum.de/frage/warum-bildet-puddinghaut/1568708>
11. Hörner, R. (1996). Modifizierte Stärke. Schriftliche Hausarbeit, Bayreuth.
12. Matissek, R. (2016). Polysaccharide. In R. Matissek, & W. Baltes, Lebensmittelchemie (S. 159-163). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
13. Matissek, R. (2016). Verwendung von nativen und modifizierten Stärken. In R. Matissek, & W. Baltes, Lebensmittelchemie (S. 525-528). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
14. Starke Chemie/Stärke. (2018). In A. Behr, & T. Seidensticker, Einführung in die Chemie nachwachsender Rohstoffe (S. 159-174). Berlin: Springer Spektrum.

15. Wiechoczek, D. (23. Januar 2012). Von der Kartoffel zur Stärkefolie. Abgerufen am 8. Juni 2021 von Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie: https://www.chemieunterricht.de/dc2/nachwroh/nrt_01.htm
16. <https://pixabay.com/de/baumwolle-zweig-baumwolle-pflanze-1271038/>;
Lizenz: CC0 Public Domain, zul. aufgerufen am 01.02.2022
17. <https://pixabay.com/de/gummi-baum-eukalyptus-grandis-baum-1164170/>;
Lizenz: CC0 Public Domain, zul. aufgerufen am 01.02.2022
18. <https://pixabay.com/de/weizenfeld-weizen-getreide-korn-640960/>;
Lizenz: CC0 Public Domain, zul. aufgerufen am 01.02.2022
19. <https://pixabay.com/de/kartoffeln-gem%C3%BCse-roh-lebensmittel-411975/>
Lizenz: CC0 Public Domain, zul. aufgerufen am 01.02.2022