



Die amylosefreie Kartoffel

Durch Gentechnik zu umweltfreundlichen, nachwachsenden Rohstoffen für die Industrie

Ellen Peerenboom

Wozu wird Stärke gebraucht?

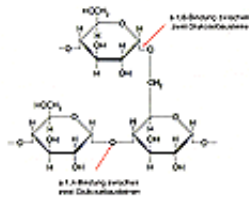
Stärke begegnet uns im Alltagsleben überall: Die Nahrungsmittelindustrie benutzt sie als Bindemittel. Somit ist sie in vielen unserer Lebensmittel enthalten. Aber sie kann auch für völlig andere Zwecke eingesetzt werden: zur Herstellung von Papier, Wellpappe, Textilien, Arzneimitteln, Baustoffen und Kunststoffen. Als biologisch abbaubares Material hält sie in die Verpackungsindustrie Einzug. Man gewinnt sie aus Pflanzen, denn dort ist sie der Speicherstoff Nummer 1: Bei der Photosynthese stellt die Pflanze aus Wasser und Kohlendioxid unter Einwirkung des Sonnenlichtes Zucker her (Glukose). Diese Glukose wird später in Stärke umgewandelt und in den Speicherorganen (zum Beispiel den Knollen der Kartoffel oder den Körnern der Getreide) gelagert.



Nicht nur in Lebensmitteln sondern auch in zahlreichen Materialien wie Papier, Wellpappe, Kleister und Tabletten findet Stärke ihre Verwendung.

Was ist Stärke?

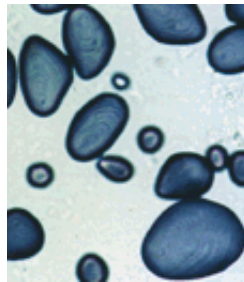
Die Eigenschaften der Stärke, nämlich zu verbinden, zu verdicken und Filme zu bilden, liegen in der molekularen Struktur des Moleküls begründet. Und gerade diese Eigenschaften führen zu der vielseitigen Anwendung. Daher wird es nun zunächst einmal chemisch, denn das Molekül der Stärke besteht aus einer Kette von Zuckereinheiten (**Glukose**) und ist damit ein **Mehrfachzucker** (Polysaccharid). Sie kommt in zwei Formen vor: der **Amylose** und dem **Amylopektin**. In beiden sind die Zuckereinheiten miteinander **a-1,4-glykosidisch** verknüpft. Das Amylopektin-Molekül verzweigt sich allerdings etwa alle 30 Zuckereinheiten durch eine **a-1,6-glykosidische** Verbindung, während die Amylose unverzweigt ist. Durch die "Seitenäste" ist Amylopektin besser löslich.



Die glykosidischen Verzweigungen im Stärkemolekül

Stärke ein sinnvoller Rohstoff

Stärke ist als **nachwachsender Rohstoff** ein Naturprodukt, das **biologisch abbaubar** und umweltfreundlich ist. Während Stoffe wie Erdöl und Kohle nicht erneuerbar sind und ihre Reserven daher unweigerlich dem Ende zugehen, können Pflanzen, die Stärke oder andere Rohstoffe produzieren, immer wieder angebaut werden. Damit schlägt man zwei Fliegen mit einer Klappe, denn zum einen ist Stärke ein umweltfreundliches, vielseitiges Produkt, zum anderen bietet sie den Landwirten zu Zeiten der Überproduktion von Nahrungsmitteln eine sinnvolle Alternative, ihr Einkommen zu sichern. Stellt man mit Hilfe von Stärke Papier her, gibt es noch einen weiteren umweltfreundlichen Aspekt: Stärke bindet Füllstoffe und Farbpigmente weitestgehend in die Papierbahnen ein. Dadurch belastet dieses Verfahren der Papierherstellung das verwendete Wasser weniger. Allerdings ist Stärke nicht gleich Stärke: Denn je nach dem, von welcher Pflanze die Stärke produziert wird, enthält sie unterschiedliche Mengen an Amylopektin und Amylose. Darüber hinaus lagern sich Stoffe wie Fette, Eiweiße und Wasser an. Im chemischen Sinne ist sie also kein "reiner" (sauberer) Rohstoff. Daher kann die Industrie diesen Stoff nicht immer so wie er ist direkt nutzen, sondern muß ihn reinigen und oft chemisch verändern. Das belastet nicht nur Abwässer mit Schadstoffen, sondern verbraucht auch Energie. Amylopektin findet am häufigsten Verwendung: Es deckt 75 Prozent des industriellen Bedarfes ab, während 20 bis 25 Prozent auf die Amylose fallen. Die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften dieser beiden Stoffe bedingen auch völlig unterschiedlichen Anwendungen: Amylopektin eignet sich als Kleister, während Amylose ihre Verwendung in Filmen findet. Diese Vielseitigkeit macht die beiden Komponenten der Stärke zu interessanten Rohstoffen für viele Zweige der Industrie.



Die Stärkekörner aus den Knollen der Kartoffel färben sich mit einer jodhaltigen Lösung blau. Der Grund dafür ist, daß sie neben des Amylopektins auch die Amylose enthalten: Sie färbt sich blau. Die Schichtung der Körner läßt sich deutlich erkennen.

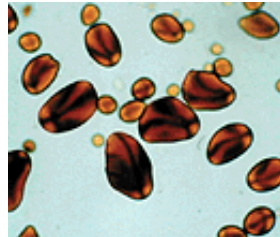
Pflanzen liefern Stärke

Der Landwirt baut für die Erzeugung der Stärke bevorzugt Kartoffeln an, denn sie liefern die besten Erträge pro Hektar. Der Mais und andere Getreidearten folgen, während Erbsen und Bohnen den Schluß bilden. Für den Mais sind Mutanten bekannt, die nur den einen oder nur den anderen Teil der Stärke bilden. Die Kartoffel besitzt allerdings vier Chromosomensätze (tetraploid). Daher ist es bislang züchterisch noch nicht gelungen, ähnliche Mutationen in der Kartoffel zu erhalten. Zwar gibt es eine sogenannte **monohaploide** Linie (das heißt für die Kartoffel, daß an Stelle zweier Chromosomensätze in der haploiden Form nur einer vorhanden ist) die keine Amylose herstellt, aber die Pflanzen bilden weniger Knollen und eignen sich somit nicht für die Produktion großer Mengen

Amylopektins. Darüber hinaus sind sie nicht sehr vital.

Die Stärke wird in den Plastiden der Pflanze hergestellt. Zu ihnen gehören die grünen Chloroplasten, die Ort der Photosynthese sind, und die weißen Amyloplasten, die Reservestärke speichern. An der Bildung der Stärke sind Proteine beteiligt, sogenannte Enzyme, die die Reaktionen in Zellen ermöglichen. Für die Amylose sind zwei Gruppen dieser biochemischen Katalysatoren bekannt: die löslichen und die an Körnern aus Stärke gebundenen Stärkesynthasen.

Für die Kartoffel kennt man diese Enzyme und ihre Erbinformation. Das gebundene Enzym ist für die Bildung der Amylose in der Kartoffel verantwortlich. An diesem Enzym arbeiteten Wissenschaftler des MPIZ.



Bei den gentechnisch veränderten Pflanzen ist das Gen für die gebundene Stärkesynthese mit Hilfe der Antisense-Strategie ausgeschaltet worden. Somit können sie keine Amylose mehr bilden. Das Amylopektin alleine färbt sich rot. Dadurch erscheinen die Stärkekörner dieser Pflanzen im Mikroskop rötlich. Die dunklen Stellen kommen durch die Brechung des Lichtes zustande.

Zu maßgeschneiderten Stärkegehalten und -zusammensetzungen durch gentechnische Veränderungen

Da die Veränderung der Zusammensetzung von Stärke in Kartoffeln durch herkömmliche, klassische Züchtung bislang mißlang, dachten sich die Molekularbiologen neue Wege aus. Für die Bildung von Proteinen in Zellen sind Gene verantwortlich. Zum einen können Veränderungen in der Abfolge der Bausteine (Basen) diese Gene ausschalten oder aber die Funktion des Proteins zerstören. Dieses Ereignis kommt in der Natur vor, kann aber auch im Labor herbeigeführt werden. Aber manche Gene lassen sich auch mit anderen Methoden ausschalten. Wenn Zellen ein Protein bilden, dann wird die Information eines Gens in der Form einer Matrize als sogenannte einzelsträngige **Boten-RNA (mRNA)** abgeschrieben (**Transkription**). Spezifische Organellen der Zelle, die sogenannten **Ribosomen**, übersetzen diese RNA dann in Protein (**Translation**). Die einzelsträngigen mRNAs bilden das Ziel der **Antisense-Strategie**. Sie ermöglicht es, die Aktivität eines Gens zu verringern oder sogar völlig zu unterdrücken. Mit Hilfe eines künstlichen Gens, dessen RNA komplementär - also gegensinnig (**antisense**) - zum Zielgen ist, blockiert man die mRNA des gewünschten Gens. Denn nach einem Modell paaren sich diese beiden RNAs zu einem Doppelstrang, den die Proteinmaschinerie der Zelle (Ribosomen) nicht mehr in Protein übersetzen kann. Eine andere Möglichkeit, Gene zu blockieren, sind **Ribozyme**. Dies sind Enzyme, die nicht aus Protein, sondern aus Ribonukleinsäure (RNA) bestehen. Einige Wissenschaftler gehen davon aus, daß solche Moleküle die ersten Enzyme in der Uruppe waren. Diese Ribozyme können bestimmte RNAs zerschneiden. Entwickelt man also ein Ribozym, das spezifisch die mRNA des Zielgens zerschneidet, dann besteht die Möglichkeit dieses Gen auszuschalten.

Der Weg zur amylosefreien Kartoffel

Wie erwähnt ist die an Körnern gebundene Stärkesynthese (GBSS) der Kartoffel für die Bildung der Amylose verantwortlich ist. Eine Mutation in diesem Gen ist aus dem Mais bekannt. Sie führt zu einem wachsähnlichen Aussehens des Maiskorns. Daher erhielt das Gen den Namen "waxy". Ein Teil des Gens (**Promotor**) ist für seine Regulation verantwortlich. Dieser Promotor bestimmt, wann, wieviel und wo das Enzym gebildet wird. So bilden ausschließlich die Knollen der Kartoffel die gebundene Stärkesynthese. Diese Regulationseinheit wurde vor ein Antisense-Gen der gebundenen Stärkesynthese gesetzt. In eine Kartoffellinie, die für die Produktion von Stärke Verwendung findet, brachten unsere Wissenschaftler dieses Gen gemeinsam mit einem Markergen ein. Dieser Marker erlaubt es, unter einer Vielzahl von Zellen diejenigen auszuwählen, die das neue Gen enthalten (siehe *MPIZ aktuell* 1996/1).

Die so gentechnisch veränderten Pflanzen zeigten im Mikroskop, daß ihre Stärkekörner keine Amylose enthalten. Ein sehr einfacher Test kann das beweisen: Stärke, die noch Amylose enthält, färbt sich in einer jodhaltigen Lösung blau, während Amylopektin alleine sich rot färbt.

Da neue Merkmale gentechnisch veränderter Pflanzen nicht immer stabil sind, müssen diese in mehreren Generationen getestet werden. Auch die Nachkommen dieser Kartoffeln zeigten das gleiche Merkmal. Diese Untersuchungen im Gewächshaus brachten also das gewünschte Ergebnis. Nun ist es wichtig, diese Ergebnisse unter Bedingungen im Freiland zu testen, da nur so gewährleistet ist, daß die neue Eigenschaft stabil ist und Umweltfaktoren keinen Einfluß nehmen (siehe dazu auch *MPIZ aktuell* 1996/1).

Auch die Methode der Ribozyme wurde benutzt. Dabei stellten unsere Mitarbeiter mehrere, verschiedene Ribozyme her. Der Test im Reagenzglas verlief positiv: Die Ribozyme zerschnitten ihre Ziel-RNA, die mRNA der gebundenen Stärkesynthase. In mehrere Kartoffelsorten, die man industriell zur Stärkeproduktion nutzt, führten unsere Wissenschaftler die Erbinformation für diese Ribozyme ein. Doch was im Reagenzglas so einfach erschien, ließ sich in der Pflanzenzelle nicht verwirklichen.

Dieser Versuch zeigt deutlich, daß auf dem Papier viele Wege zum gewünschten Ziel führen. Aber was im Reagenzglas klappt, muß in der lebenden Zelle noch lange nicht möglich sein. Daher ist es wichtig, viele verschiedene Ansätze in der Wissenschaft zu verfolgen und schließlich mit dem weiter zu arbeiten, der sich als der geeignetste herausstellt.

Literatur:

- B. Kull et al.: Genetic engineering of potato starch composition: inhibition of amylose biosynthesis in tubers from transgenic potato lines by expression of antisense sequences of the gene for granule-bound starch synthase. (1995) *J. Genet. & Breed.* 49: 69-76
- Bericht des Bundes und der Länder über Nachwachsende Rohstoffe 1995. Herausgeber Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Vorschau:

MPIZ aktuell 1996/6 beschäftigt sich mit Raps als nachwachsenden Rohstoff.

Text, Layout & Redaktion: Ellen Peerenboom

Wissenschaftliche Begleitung: Brigitte Kull,

Bildnachweis: B. Kull, E. Peerenboom, G. Brühl

Herausgeber:

Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung

Carl-von-Linné-Weg 10

D-50829 Köln

Nachbestellung von *MPIZ aktuell* gegen eine Schutzgebühr von 0,50 DM pro Exemplar zuzüglich Porto ab 10 Exemplare schriftlich an oben genannte Adresse oder telefonisch unter Tel.: 0221 5062 501, Fax: 0221 5062 513

© 1996 Ellen Peerenboom und MPI für Züchtungsforschung

