

Ertragspotential, Qualitätsaspekte und Verwendungsmöglichkeiten heimischer Pflanzenarten für die Stärkeproduktion

SIEGFRIED SCHITTENHELM

Institut für Pflanzenbau

Einleitung

Pflanzen haben die einzigartige Fähigkeit, die Strahlungsenergie der Sonne mit Hilfe von Blattfarbstoffen zu absorbieren und in chemische Energie umzuwandeln. Bei einer Reihe von Pflanzenarten wird die bei der Photosynthese anfallende Glucose in das Reservkohlenhydrat Stärke umgewandelt und in speziellen Speicherorganen (Samen, Sproßknollen, Wurzelknollen, Rhizomen u.a.) gelagert. Neunundneunzig Prozent der weltweiten Stärkeerzeugung entfallen auf nur vier Fruchtarten: Mais, Kartoffel, Weizen und Maniok.

Stärke ist nicht nur ein wichtiges Nahrungs- und Futtermittel. Sie wird auch in der Industrie in vielfältiger Weise genutzt. Im Jahr 1987 wurden in der Bundesrepublik Deutschland 0,96 Mio. t Stärke und Stärkederivate verbraucht; davon 41 % im Bereich der Industrie (Christmann, 1991). Bis zum Jahr 2000 wird ein weiterer Zuwachs in der Verwendung von Industriestärke erwartet (0,57-0,77 Mio. t). Solche Prognosen sind jedoch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da Stärkeprodukte in allen Verwendungsbereichen in einem technischen und ökonomischen Wettbewerb stehen. Dabei handelt es sich sowohl um Produkte aus anderen Industriepflanzen als auch solchen auf petrochemischer Basis. So entscheidet beispielsweise bei der Herstellung von Druckpapier lediglich der Preis bzw. das Preis-/Wirkungsverhältnis, ob als Bindemittel Stärke oder eine Kunststoffdispersion eingesetzt wird.

Rohstoffquellen

Unter den in der Bundesrepublik Deutschland verwendeten Rohstoffen für die Stärkeerzeugung dominiert noch der Mais (Abbildung 1). Während im Jahr 1975 lediglich 2 % des in der Europäischen Gemeinschaft für die Stärkeherstellung eingesetzten Mais' auch hier produziert wurde, betrug der Anteil von EG-Mais 1988 bereits 95 %. Die relative Bedeutung von Weizen als Stärkerohstoff hat in den letzten Jahren stark zugenommen.

Ein Vergleich der Stärkeerträge zeigt, daß die Kartoffel die mit Abstand leistungsfähigste einheimische Stärkepflanze ist (Tabelle 1). Beim Weizen ist die Stärkeausbeute vergleichsweise gering, weil nur die A-Stärke hinsichtlich Reinheitsgrad mit Kartoffel- und Maisstärke vergleichbar ist. Dem Vorteil eines hohen Substanzertrages von Kartoffeln steht jedoch entgegen, daß nur wenige ökonomisch interessante Nebenprodukte anfallen. Dagegen wird bei Verwendung von Mais und Weizen die Wirtschaftlichkeit durch hohe Nebenprodukterlöse stark verbessert. Ein weiterer Nachteil der Kartoffel liegt in ihrem niedrigen Stärkegehalt. Dies verursacht nicht nur höhere Transportkosten, sondern es fallen in den Stärkefabriken auch große Abwassermengen an. Die umweltgerechte

Entsorgung des Abwassers bereitet Probleme wegen hoher Gehalte an Kalium und nichtkoagulierbaren Stickstoffverbindungen.

Tabelle 1: Leistungsvergleich der wichtigsten einheimischen Stärkepflanzen

Rohstoff	Knollen-/ Kornertrag (dt ha ⁻¹)	Stärke- gehalt (%)	Stärke- ertrag (dt ha ⁻¹)	Stärke- ausbeute* (dt ha ⁻¹)
Kartoffel	400	18	72	66
Mais	70	70	49	47
Weizen	60	65	39	27
Gerste	55	60	33	-
Erbsen	35	40	14	-

* Die technische Stärkeausbeute bei Kartoffel, Mais und Weizen beträgt 92 %, 95 % bzw. 70 % (Meuser und Althoff, 1990). Angaben über die Stärkeausbeute bei Gerste und Erbsen waren nicht verfügbar.

Aspekte der Rohstoffqualität

Stärke ist aus Glucoseeinheiten aufgebaut und liegt in Form linearer und verzweigter Polymere (Amylose bzw. Amylopektin) vor (Abbildung 2). In den Stärkekörnern ist sie mit Protein und im Fall der Getreidestärke mit Lipiden sowie Wasser assoziiert.

Eine besondere Eigenschaft der Amylose besteht in ihrer Fähigkeit zur Film- und Faserbildung. Für bestimmte Anwendungsbereiche (Appreturen, Filme, Folien etc.) wird Stärke mit einem hohen Amylosegehalt benötigt. Stärke mit einem Anteil von über 80 % Amylose besitzt nahezu die gleichen Eigenschaften wie reine Amylose.

Form und Größe der Stärkekörner sind charakteristisch für die pflanzliche Herkunft (Abbildung 3). Die Kartoffel ist durch vergleichsweise große Stärkekörner mit einem niedrigen Gehalt an Eiweiß gekennzeichnet, was für verschiedene Anwendungsbereiche von Vorteil ist.

Neben einem hohen Amylose- oder Amylopektin Gehalt ist die enge Verteilung der Stärkekorngröße ein wichtiges Qua-

litätskriterium für den Einsatz in der Industrie. Bei der Kartoffel variiert die Stärke Korngröße zwischen 5 und 100 µm. Schittenhelm und Menge-Hartmann (1992) stell-

ten zwar beachtliche Sortenunterschiede in der Korngrößenverteilung fest, die bei der Herstellung sortenreiner Stärken genutzt werden

könnten. Der Züchtung von Sorten mit einer gleichmäßigen Korngröße sind jedoch biologische Grenzen gesetzt, weil im mit dem Leitgewebe assoziierten kleinzelligen Speicherparenchym nur kleine, im angrenzenden Gewebe dagegen zunehmend größere Stärkekörner vorliegen.

Verbesserung des Rohstofftrages

Da ein wesentlicher Teil der Kosten für die Erzeugung der verschiedenen Stärkeprodukte auf die Bereitstellung des pflanzlichen Rohmaterials entfällt; müssen die Korn- und Knollenerträge durch pflanzenbauliche und insbesondere pflanzenzüchterische Maßnahmen weiter gesteigert werden. Bei den drei wichtigsten Stärkepflanzen kann auch zukünftig mit einem linearen Ertragszuwachs von jährlich 1-2 % gerechnet werden. Ertragsprünge, wie sie bei Mais durch die gezielte Nutzung von Heterosis beim Übergang von offenbestäubten Sorten zu Hybridsorten auftreten, sind künftig nicht mehr zu erwarten. Heterosis wird auch bei der vegetativ vermehrten Kartoffel bereits in großem Umfang genutzt. Hier kann die für einen langfristigen Züchtungsfortschritt notwendige breite genetische Basis durch Einkreuzung von langtagadaptiertem Andigena-Material gewährleistet werden (Schittenhelm und Dambroth, 1989; Schittenhelm, 1991). Die Erzeugung von Hybridweizen ist ökonomisch nicht sinnvoll, da die Mehrleistung von F1-Hybriden gegenüber den besten vorhandenen Liniensorten nicht groß genug ist, um die hohen Kosten der Hybridsaatgutproduktion zu kompensieren.

Der Steigerung des Stärkegehaltes kommt eine wichtige Bedeutung zu, da sich der Stärkeertrag multiplikativ aus dem Rohstofftrag und Stärkegehalt zusammensetzt. Bei der Kartoffel wird im Gegensatz zu Mais und Weizen bereits seit mehreren Jahrzehnten gezielt auf einen hohen Stärkegehalt selektiert. Während die derzeit auf dem Markt befindlichen Stärkekartoffelsorten einen Stärkegehalt von durchschnittlich etwa 18 % aufweisen, dürften in absehbarer Zukunft Gehalte von 20-25 % erreichbar sein. Die Verbesserung des Stärkegehaltes beim Körnermais hält Alber (1990) aufgrund der gerin-

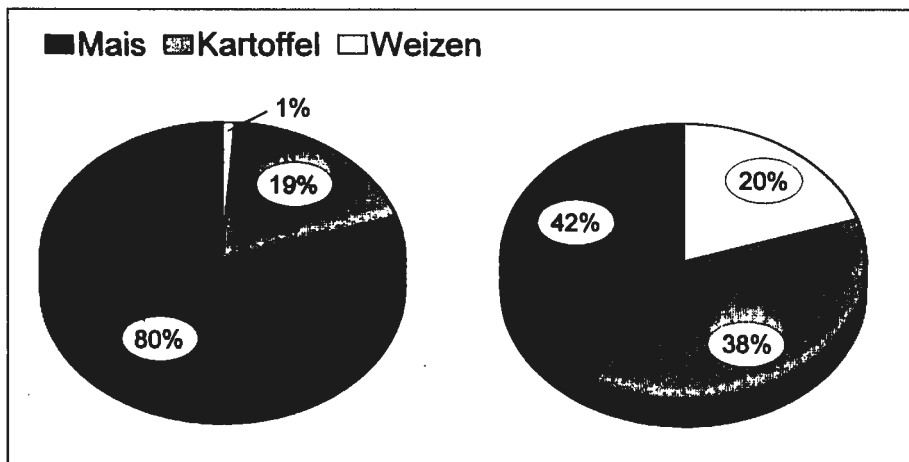


Abbildung 1: Rohstoffquellen für native Stärken im Nichtnahrungsbereich in der Bundesrepublik Deutschland (links: 1980; rechts: 1987)

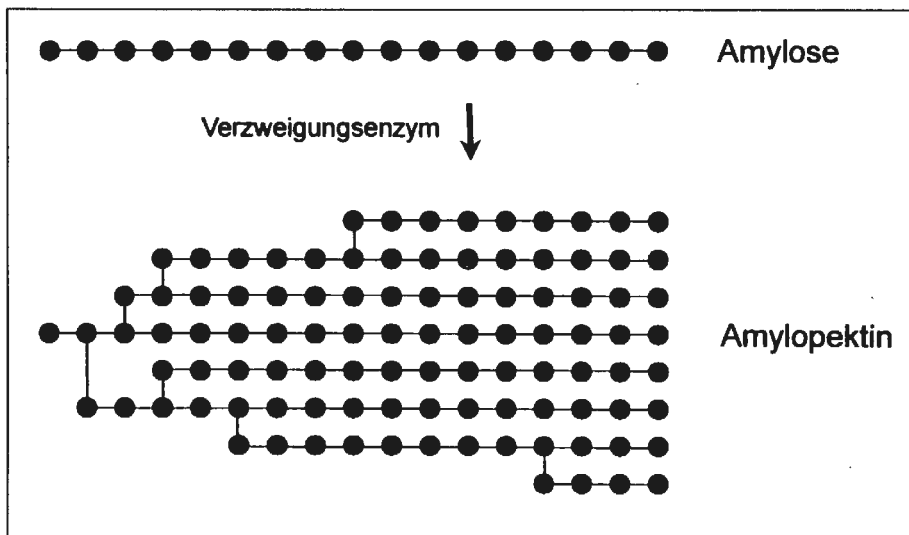


Abbildung 2: Struktur von Amylose und Amylopektin

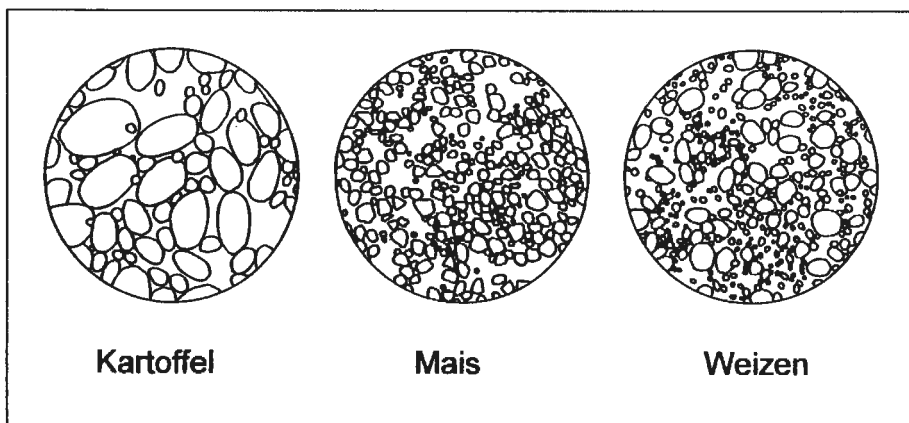


Abbildung 3: Form und Größe der Stärkekörner von Kartoffel, Mais und Weizen

gen genetischen Variation kaum für möglich. Allerdings liegt der Stärkegehalt mit 70 % auf einem bereits hohen und stabilen Niveau. Beim Weizen könnte der Stärkegehalt, unter Vernachlässigung der Backfähigkeit, auf Kosten des Proteingehaltes erhöht werden.

Verbesserung der Rohstoffqualität

Herkömmliche pflanzliche Stärke weist lediglich einen Anteil von etwa 25 % Amylose auf. Mutanten mit einseitig hohen Gehalten an Amylose ('high-amylö') bzw. Amylopektin ('waxy') wurden bei mehreren Pflanzenarten gefunden (Tabelle 2). Die Amylosegehalte von high-amylö-Mutanten liegen mit 45-69 % etwa doppelt so hoch wie beim jeweiligen Wildtyp. Bei Mais wird der Amylosegehalt auch noch durch modifizierende Gene beeinflusst. Diese Minorgene ermöglichen die Selektion von Genotypen mit Amylosegehalten von bis zu 85 %. Bei der Kartoffel wurde bislang noch keine high-amylö-Mutante beschrieben. Schittenhelm und Menge-Hartmann (1992) fanden zwar bei einer Herkunft der Wildkartoffelart *Solanum sandemanii* einen Genotyp mit einem auffallend hohen Amylosegehalt von 51,4 %. Ob dieser hohe Wert auf dem Vorliegen eines Mutantengens oder einer günstigen Kombination von Minorgenen beruht, muß noch geklärt werden.

Tabelle 2: Amylosegehalte verschiedener Stärken

Pflanzenart	Waxy	Normal	High-amylö
Kartoffel	0	20	-
Mais	0	28	85
Weizen	-	26	-
Gerste	0	22	45
Erbse	-	35	85
Reis	0	19	-
Sorghum	0	28	-

Quellen: Meritt (1967), Juliano (1984), Watson (1984), Whistler (1984), Young (1984), Hovenkamp-Hermelink *et al.* (1987), Dambroth und Schröder (1990).

Bei der Verbesserung der Rohstoffqualität erhält die Pflanzenzüchtung zunehmend Unterstützung durch die Gentechnik. Sie ist im Gegensatz zur konventionellen Pflanzenzüchtung nicht auf bereits vorhandene Gene innerhalb der Art bzw. nahe verwandter Arten beschränkt. Darüberhinaus kann mit ihrer Hilfe auch gezielt in den Stoffwechsel eingegriffen werden. So wird beispielsweise bei der Kartoffel versucht high-amylö-Formen zu erzeugen, indem das für den Übergang von der Amylose zum Amylopektin verantwortliche Verzweigungsenzym ausgeschaltet wird.

Verbreiterung der Rohstoffbasis

Die Erbse und Gerste werden bislang noch nicht für die Stärkeerzeugung genutzt. Markerbsen und bestimmte Gerstenformen sind interessante Quellen für Amylose, zumal von Kartoffel, Mais und Weizen noch keine bzw. keine klimatisch angepassten high-amylö-Sorten zur Verfügung stehen. Die mangelnde Mähdruschfähigkeit der Erbse kann durch Einkreuzen von semi-leafless und leafless Mutanten verbessert werden (Dambroth und Schröder, 1990).

Verwendung in der Industrie

Die europäische Stärkeindustrie bietet heute über 600 verschiedene Produkte an. Einige Beispiele aus den verschiedenen Industriezweigen sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Angesichts von jährlich allein in den alten Bundesländern anfallenden 700000 t Kunststoffmülls sind insbesondere neuere Entwicklungen im Bereich der biologisch abbaubaren Kunststoffe interessant. Stärke läßt sich mit Polyethylen durch Co-Extrusion kombinieren. Dabei werden die Stärkekörner in die PE-Matrix verteilt, ohne jedoch eine chemische Verbindung einzugehen. Bei der Verwendung als Co-Polymer wird Stärke beispielsweise mit Polyethylen und Polypropylen polymerisiert. Diese Co-Polymere können einen Mengenanteil von bis zu 60 % Stärke aufweisen. Der mikrobielle Abbau solcher Produkte hängt entscheidend vom Stärkeanteil im Polymer ab. Für den Abbau eines Stärke-PE-EAA Plastikfilms sollte der Stärkeanteil zumindest etwa 40 Gewichtsprozent betragen, da nur dann der Verbund der Stärkepartikel gewährleistet ist (D o a n e, 1992). Weiterhin kann Stärke im pulverisierten Zustand in einem Spritzgußverfahren zur Herstellung von Thermoplasten eingesetzt werden. Weitere Verbesserungen in den Gebrauchseigenschaften solcher Produkte (z.B. Hydrophobie, Reißfestigkeit, Dehnbarkeit) sind noch erforderlich. Zur fermentativen Produktion von Biopolymeren wird bestimmten Mikroorganismen Stärke bzw. Stärkehydrolysat als Nahrungsquelle angeboten. Polyhydroxy-Buttersäure (PHB) läßt sich beispielsweise mit Hilfe von Bakterien erzeugen.

Tabelle 3: Stärkeprodukte aus verschiedenen Industriezweigen (Gehalte in Prozent)

Papier und Pappe		Kunststoffe	
Packpapier	3-5	Co-Extrusion	
Zeitungspapier	1,5-2	PE-Tragetaschen	ca. 20
Graph. Papier	1,5-2	PE-Flaschen	5-10
		Polyurethane	10
		Co-Polymere	
Gipskartonplatten	5-7	EAA-Filme	20-60
Mineralfaserplatten	3-6	PVA-Folien	bis 60
Gran. Kohlen	2-5	Thermoplaste	
		Becher, Trays etc.	100
		Verpackungschips	100
		Biopolymere	
		Pollulan	
		Xanthan	
		PHB	
		Verschiedenes	
		Wäschesteife	15-25
		Waschpulver	3-5
		Waschröhstoffe	30-45
		Zahnpasten	6-70
		Tabletten	0,1-0,5

Abkürzungen: PE = Polyethylen, EAA = Ethylen-Acrylsäure-Co-Polymer, PVA = Polyvinyl-Alkohol, PHB = Polyhydroxy-Buttersäure.

Zusammenfassung

Nach einer kurzen Darstellung des derzeitigen und künftigen Verwendungspotentials von Industriestärke sowie einer vergleichenden Betrachtung aktueller und potentieller einheimischer Stärkerohstoffe werden verschiedene Aspekte der Rohstoffqualität beleuchtet, Perspektiven für die Verbesserungen von Rohstofftrag und Rohstoffqualität diskutiert, Möglichkeiten einer Verbreiterung der Rohstoffbasis aufgezeigt und neue Entwicklungen bei der industriellen Verwendung dargestellt.

Yield potential, quality aspects and utilization of indigenous crop species for starch production

Present and future potential for industrial starch utilization is discussed. Comparison is made amongst different actual and potential indigenous sources for starch. Quality aspects of raw material are highlighted and improvement of crop yield and quality are also discussed. Possibilities of broadening the raw material basis are outlined and new developments for the industrial application are demonstrated.

Literatur

- Alber, K.D. (1990): Möglichkeiten zur Verbesserung von Stärkequalität und Stärkemenge. S. 171-172. - In: Stärke im Nichtnahrungsbereich. Hrsg. Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Heft 380. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- Christmann, V. (1991): Preisbildung und Verwendung von Stärke im Nicht-Nahrungsbereich. S. 112-115. - In: Produktions- und Verwendungsalternativen für die Land- und Forstwirtschaft. Hrsg. Bundesamt für Ernährung und Forstwirtschaft. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- Dambroth, M. und G. Schröder (1990): Sammlung, Erhaltung, Evaluierung und Nutzbarmachung pflanzen genetischer Ressourcen am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der FAL dargestellt am Beispiel großsamiger Körnerleguminosen. - Landbauforschung Völkenrode 40, S. 261-278.
- Doane, W.M. (1992): USDA research on starchbased biodegradable plastics. - Starch/Stärke 44, S. 293-295.
- Hovenkamp-Hermelink, J.H.M., E. Jacobsen, A.S. Ponstein, R.G.F. Visser, G.H. Vos-Scheperkeuter, E.W. Bijmolt, J.N. De Vries, B. Witholt, und W.J. Feenstra (1987): Isolation of an amylose-free starch mutant of the potato (*Solanum tuberosum* L.). - Theor. Appl. Genet. 75, S. 217-221.
- Juliano, B.O. (1984): Rice starches: Production, properties, and uses. S. 507-528. - In: Whistler, R.L. et al. (eds.): Starch: Chemistry and technology. 2nd. ed., Academic Press.
- Merritt, N.R. (1967): A new strain of barley with starch of high amylose content. - J. Inst. Brew. 73, S. 583-585.
- Meuser, F. und F. Althoff (1990): Vergleichende Betrachtung über die Gewinnung von Stärke aus Mais, Weizen und Kartoffeln unter Berücksichtigung der Nebenprodukte und der im Stärkegewinnungsprozeß anfallenden Abwässer. S. 41-55. - In: Stärke im Nichtnahrungsbereich. Hrsg. Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Heft 380. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- Schittenhelm, S. und M. Dambroth (1989): Neo-Tuberosum - Neues Kartoffelzuchtmaterial. - Der Kartoffelbau 40, S. 378-379.
- Schittenhelm, S. (1991): Untersuchungen zur Eignung langtagadaptierter Genotypen von *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* für die Stärkekartoffelzüchtung. - Dissertation Universität Gießen.
- Schittenhelm, S. und U. Menge-Hartmann (1992): Stärke- und Amylosegehalt sowie Größe und Morphologie von Stärkekörnern knollentragender *Solanum*-Arten. - Landbauforschung Völkenrode 42, S. 117-126.
- Watson, S.A. (1984): Corn and sorghum starches: Production. S. 417-468. - In: Whistler, R.L. et al. (eds.): Starch: Chemistry and technology. 2nd. ed., Academic Press.
- Whistler, R.L. (1984): History and future expectation of starch use. S. 1-9. - In: Whistler, R.L. et al. (eds.): Starch: Chemistry and technology. 2nd. ed., Academic Press.
- Young, A.H. (1984): Fractionation of starch. S. 249-283. - In: Whistler, R.L. et al. (eds.): Starch: Chemistry and technology. 2nd. ed., Academic Press.
- Verfasser: Schittenhelm, Siegfried, Dr. agr.; Institut für Pflanzenbau der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Dir. und Prof. Dr. agr. Manfred Dambroth.