

Über synthetische Vorgänge im pflanzlichen Organismus.

II. Vorkommen, Bedeutung und Bildung des Rohrzuckers bei der Keimung von *Pisum sativum*.

Von

P. Boysen-Jensen.

(Aus dem pflanzenphysiologischen Laboratorium der Universität Kopenhagen.)

I. Einleitung.

Schon mehrmals ist von verschiedenen Forschern nachgewiesen worden, daß eine Rohrzuckerbildung während der Keimung stattfinden kann. Kjeldahl¹⁾ zeigte, daß ungekeimte Gerste etwa 1,1⁰/₀, Grünmalz dagegen 4,7⁰/₀ Saccharose enthält. Andere Forscher kamen zu ungefähr demselben Ergebnisse. O'Sullivan²⁾ z. B. fand in ungekeimter Gerste 0,8—1,6⁰/₀, in Malz 2,8—6,0⁰/₀ Saccharose. Später ist dieselbe Frage eingehend von Brown and Morris³⁾ untersucht worden. Sie bestimmten den Saccharosegehalt sowohl in den Endospermen wie in den Embryonen der Gerste und fanden dabei folgendes (die Zahlen bedeuten Prozente der Trockensubstanz):

1) Kjeldahl, Undersøgelser over Kulhydrater i Byg og Malt med særligt Hensyn til Forekomsten af Rørsukker. Medd. f. Carlsberg Labor. I, p. 339, 1881.

2) O'Sullivan, On the Sugars of Some Cereals and of Germinated Grain. Journ. Chem. Soc., Transact., Vol. 49, p. 58, 1886.

3) Brown and Morris, Researches on the Germination of some of the Gramineae. Journ. Chem. Soc., Transact. Vol. 57, p. 458, 1890.

	Gerste, in 48 Stunden eingeweicht		Nach Keimung in 10 Tagen	
	Embryonen	Endosperme	Embryonen	Endosperme
Rohrzucker . .	5,4	0,3	24,2	2,2
Invertzucker .	1,8	0,2	1,2	2,2
Maltose . . .	—	—	—	4,5
Total	7,2	0,5	25,4	8,9

Die Vermehrung des Rohrzuckers findet also vorzugsweise in den Embryonen statt.

Nach den Untersuchungen von Schulze¹⁾ findet sich in ungekeimten Lupinensamen kein Rohrzucker; aus Lupinenkeimlingen ließ sich aber Rohrzucker in reichlicher Menge isolieren.

Auch die Ergebnisse verschiedener anderer Forscher deuten darauf hin, daß eine Rohrzuckersynthese bei der Keimung als eine ziemlich allgemeine Erscheinung zu betrachten ist.

Bequemer als bei der Gerste läßt sich aber nach meinen Erfahrungen die Rohrzuckersynthese bei der Erbse untersuchen, namentlich deswegen, weil hier nur sehr geringe Spuren von direkt reduzierenden Zuckerarten vorkommen.

II. Methodik.

Nachdem die Erbsen 24 Stunden eingeweicht waren, wurden sie in einer Schale in dampfgesättigter Luft gestellt um zu keimen. Die meisten Versuche wurden mit Erbsenkotyledonen angestellt. Nachdem die Keimpflanzen die vorgeschriebene Größe erreicht hatten, wurden die Kotyledonen von den Embryonen getrennt.

Die Kotyledonen bilden, wenn gutes Erbsenmaterial vorhanden ist, ein ziemlich gleichartiges Material. Doch muß man dafür Sorge tragen, daß die Verteilung des Materials in den verschiedenen Versuchsportionen so gleichförmig wie möglich wird. In vielen Fällen genügt es, Versuchsportionen von 20 g zu verwenden; besser aber ist es, Portionen von 40 g zu brauchen. Kontrollportionen von dieser Größe weichen, wie die folgenden Zahlen zeigen,

1) Schulze u. Frankfurt, Über die Verbreitung des Rohrzuckers in den Pflanzen, über seine physiologische Rolle und über lösliche Kohlenhydrate, die ihn begleiten. Zeitschr. physiol. Chem., Bd. 20, S. 511, 1895 und Bd. 27, S. 267, 1899.

ziemlich wenig voneinander ab. (Die Zahlen geben die bei der Analyse direkt gefundenen Kupfermengen):

	Vers. 1	Vers. 2	Vers. 3
Port. I . . .	137,2 mg Cu	176,2 mg Cu	151,0 mg Cu
Port. II . . .	138,5 „ „	169,0 „ „	154,5 „ „

Um den Zuckergehalt der Kotyledonen oder Embryonen zu ermitteln¹⁾, wurde jede Versuchsportion mit 200 g 70proz. Alkohol unter Zusatz von 20 g Bariumkarbonat extrahiert. Diese Alkoholmenge reicht vollkommen aus, um die ganze Zuckermenge von 40 g zu extrahieren. 200 ccm 70proz. Alkohol vermögen nämlich bei Zimmertemperatur ca. 40 g Rohrzucker zu lösen, und 40 g Erbsenkotyledonen enthielten in meinen Versuchen höchstens 1—2 g Zucker. Nachdem die Pflanzenteile mit dem Alkohol übergossen waren, wurden die Kölbchen bei Zimmertemperatur mindestens 5—6 Tage hingestellt. Diese Zeit reicht, wie ich mich überzeugt habe, für die Extraktion vollkommen aus. Es wurden dann 150 g Alkohol abfiltriert, das Filtrat in der früher beschriebenen Weise eingengt und mit Bleiacetat und Natriumsulfat gereinigt; schließlich wurde dann eine Lösung von 50 ccm gewonnen, von welcher Portionen à 10 ccm für die Zuckerbestimmungen verwendet wurden.

Die Menge der nicht reduzierenden Zuckerarten, die, wie später gezeigt werden soll, hauptsächlich von Rohrzucker gebildet werden, wurde vor und nach der Inversion teils mit Hilfe der Kupfermethode, teils durch Polarisation bestimmt.

Die Inversion der Zuckerlösung wurde mit Schwefelsäure unternommen. Zu 10 ccm wurden bei Versuchsportionen von 20 g 5 ccm $\frac{n}{10}$ H₂SO₄, bei Versuchsportionen von 40 g dagegen 10 ccm $\frac{n}{10}$ H₂SO₄ gegeben. In beiden Fällen wurde genau 30 Minuten im Wasserbade gekocht.

Die Bestimmung des Rohrzuckers mit Fehlingscher Lösung wurde nach der von Meißl-Allihn angegebenen gewichtsanalytischen Methode ausgeführt. 10 ccm wurden zu 25 ccm verdünnt und mit 60 ccm Fehlingscher Lösung + 60 ccm Wasser 2 Min. gekocht; das Kupferoxyd wurde in üblicher Weise auf einem Asbestfilter abfiltriert, reduziert und gewogen. Diese Methode gibt

1) Wegen der Methodik der Zuckerbestimmungen vgl. P. Boysen-Jensen, Über synthetische Vorgänge im pflanzlichen Organismus I. Bioch. Zeitschr., 1912, Bd. 40, S. 420.

ziemlich genaue Werte. Kontrollbestimmungen weichen nur um 1—2 mg Cu (= 0,5—1 mg Zucker) voneinander ab.

Andere 10 ccm, zu 25 ccm verdünnt, wurden bisweilen teils vor, teils nach der Inversion zu Polarisationsbestimmungen verwendet. Die Polarisationsbestimmungen wurden mit einem Laurentschen Halbschattenpolarimeter ausgeführt. Die Genauigkeit dieser Methode ist, da die Zuckerlösungen oft trotz Reinigung mit Tierkohle ziemlich stark gefärbt sind, bei weitem nicht so groß wie die der Kupfermethode. Die Polarisationsbestimmungen (als Mittelwert von 20 Einzelbestimmungen berechnet) dürften im allgemeinen mit einem mittleren Fehler von ca. $\pm 0,7'$ behaftet sein, und da die Menge des Rohrzuckers aus der Differenz zwischen den Drehungen vor und nach der Inversion berechnet wird, beträgt der mittlere Fehler an den Zuckerbestimmungen etwa $\pm 1'$, was einer Rohrzuckermenge von $\pm 2,5$ mg entspricht. Die Resultate der Reduktionsbestimmungen und der Polarisationsbestimmungen, in beiden Fällen als Rohrzucker berechnet, stimmen nicht immer gut überein. Die Ursache ist, daß in dem alkoholischen Extrakt außer Rohrzucker auch andere invertierbare Zuckerarten und optisch aktive Verbindungen vorkommen, darunter auch einige, deren Drehung bei dem Kochen mit Schwefelsäure verändert wird. Dies geht daraus hervor, daß man in Pflanzenextrakten, die keine invertierbaren Zuckerarten enthalten, dennoch nach dem Inversionsprozeß bisweilen eine Drehungsänderung beobachten kann. Die Anwendung der Polarisationsmethode für Zuckerbestimmungen in Pflanzenextrakten ist somit nach meinen Erfahrungen ziemlich begrenzt. Doch lassen sich die Polarisationsbestimmungen vielfach als Kontrolle der Reduktionsbestimmungen verwenden.

III. Über die in den Erbsenkotyledonen vorkommenden Zuckerarten.

Wie schon oben erwähnt wurde, und wie aus allen unten angeführten Versuchen hervorgeht, finden sich in den Erbsenkotyledonen nur sehr kleine Mengen direkt reduzierender Zuckerarten. Das Vorkommen von Monosacchariden und von Maltose ist somit ausgeschlossen.

Von den invertierbaren Zuckerarten, die in Kotyledonen von ungekeimten und gekeimten Erbsen vorkommen, dürfte Rohrzucker die größte Rolle spielen. Schultze hat (a. a. O.) durch die Strontianfällungsmethode das Vorkommen von Rohrzucker in ungekeimten

Erbsen nachgewiesen. Daneben fand er aber in Kotyledonen von ungekeimten Erbsen mindestens eine andere invertierbare Zuckerart, bei deren Oxydation mit Salpetersäure Schleimsäure gebildet wird. Dieses Ergebnis habe ich bestätigen können.

50 g Erbsenmehl wurden mit 200 ccm Wasser in 24 Stunden extrahiert. Nach Reinigung des Filtrates mit Bleiacetat und Schwefelwasserstoff wurde die Flüssigkeit bei 60° stark eingeeengt; zu der Restsubstanz wurden 60 ccm 25proz. Salpetersäure gegeben, und es wurde wieder stark eingeeengt. Nach Filtrierung und Zusatz von Natriumkarbonat bis auf alkalische Reaktion wurde filtriert, das Filtrat aufs neue eingeeengt und mit Salpetersäure angesäuert. Es wurde 0,150 g Schleimsäure gebildet.

In ungekeimten Erbsen dürften somit nicht ganz unbedeutende Mengen von schleimsäurebildenden Kohlehydraten vorhanden sein. Jedoch ist es möglich, daß diese nur teilweise von 70proz. Alkohol gelöst werden.

Auch die Samen von *Phaseolus multiflorus* enthalten nach Schulze ein schleimsäurebildendes Kohlehydrat, das aber bei der Keimung verschwindet oder jedenfalls nicht nachgewiesen werden konnte. In derselben Weise geht es auch mit dem schleimsäurebildenden Kohlehydrat bei *Pisum*. Aus 100 g Erbsenkotyledonen von 8 Tage alten Erbsenkeimpflanzen konnte ich keine Schleimsäure darstellen.

Dieses Ergebnis deutet daraufhin, daß das schleimsäurebildende Kohlehydrat bei der Keimung entweder ganz verschwindet oder jedenfalls stark vermindert wird, und daß somit die invertierbare Zuckerart in Kotyledonen von gekeimten Erbsen ziemlich reiner Rohrzucker sein dürfte. In den folgenden Versuchen ist daher die invertierbare Zuckerart kurzweg als Rohrzucker bezeichnet und berechnet; der Fehler, der möglicherweise hierbei begangen wird, dürfte kaum die Beurteilung der Versuchsergebnisse beeinflussen können.

IV. Vorkommen und Bedeutung des Rohrzuckers bei der Keimung von *Pisum sativum*.

Das Vorkommen von Rohrzucker in ungekeimten Erbsen. Die Rohrzuckerkonzentration dürfte wohl bei den verschiedenen Erbsenvarietäten ziemlich variabel sein. Bei einer von mir benutzten Varietät habe ich folgende Mengen gefunden:

Versuch 1. 20 g lufttrockenes Erbsenmehl wurden in der üblichen Weise mit 200 ccm 70proz. Alkohol extrahiert.

Reduktionsbestimmung.

Fehlingsche Lösung	ohne Inversion	0,3 mg Cu	pro 20 g Erbsenmehl
			0,276 g Rohrz.
"	"	nach " 50,3 " "	pro 100 g 1,39 g
			Rohrzucker.

Polarisationsbestimmung.

Ohne Inversion.	Drehung	+ 39,1'	
Nach	"	+ 28,1'	
		<u>Diff. 11,0'</u>	entsprechend 1,45 g Rohrz.
			pro 100 g Erbsenmehl

Versuch 2. 100 g lufttrockenes Erbsenmehl wurden mit 300 ccm 70proz. Alkohol extrahiert. Nach der Extraktion wurden 275 g abfiltriert. Das Filtrat wurde eingeeignet und in der üblichen Weise mit Bleiacetat und Natriumsulfat gereinigt. Vom Schlußfiltrat wurden 5 ccm für die Rohrzuckerbestimmungen verwendet.

Reduktionsbestimmung.

Fehlingsche Lösung	ohne Inversion	11,5 mg Cu	
"	"	nach " 148 " "	pro 100 g Erbsen-
			mehl 1,32 g Rohrz.

Polarisationsbestimmung.

Ohne Inversion.	Drehung	+ 1° 35,4'	
Nach	"	+ 1° 10,1'	
		<u>Diff. 25,3'</u>	entsprechend 1,19 g Rohrz.
			pro 100 g Erbsenmehl.

Es geht aus diesen Bestimmungen hervor, daß lufttrockenes Erbsenmehl ca. 1,3% an nicht reduzierenden Zuckerarten enthält. Wie schon gesagt, wird diese Zuckermenge nur teilweise von Rohrzucker gebildet, was auch daraus hervorgeht, daß die Ergebnisse der Reduktions- und Polarisationsbestimmungen, besonders in Vers. 2, sich nicht ganz decken. Weiter bemerkt man, daß optisch aktive Substanzen in ziemlich großer Menge in den ungekeimten Erbsen vorhanden sind. Selbst nach der Inversion wird der Polarisationsplan noch stark nach rechts gedreht.

Das Verhalten des Rohrzuckers in der ersten Keimungsperiode. Der in den ungekeimten Erbsen vorhandene Rohrzucker

ist in derselben Weise wie die Stärke vorwiegend als Reservenernahrung zu betrachten. Wie aus den folgenden Versuchen hervorgeht, wird nämlich die Menge des Rohrzuckers in den Kotyledonen in der ersten Keimungsperiode vermindert.

Versuch 3. Kotyledonen von 3 Tage alten Erbsenkeimpflanzen, Wurzellänge 0,5—1 cm. Portionen à 20 g.

Portion I. Kontrolle.

Fehlingsche Lösung	ohne Inversion	0 mg Cu	
„	„	nach „	50,5 „ „ 280 mg Rohrzucker

Portion II. Nach 48 Stunden in atmosphärischer Luft.

Fehlingsche Lösung	ohne Inversion	0 mg Cu	
„	„	nach „	40,2 „ „ 223 mg Rohrzucker.

Versuch 4. Kotyledonen von 5 Tage alten Erbsenkeimpflanzen, Wurzellänge 3—4 cm. Portionen à 20 g.

Portion I. Kontrolle.

Fehlingsche Lösung	ohne Inversion	0 mg Cu	
„	„	nach „	32,0 „ „ 178 mg Rohrzucker.

Portion II. Nach 48 Stunden in atmosphärischer Luft.

Fehlingsche Lösung	ohne Inversion	0,5 mg Cu	
„	„	nach „	24,5 „ „ 133 mg Rohrzucker.

Aus den Versuchen 3—4 geht hervor, daß während der ersten Keimungsperiode die Menge des Rohrzuckers sowohl in den abgetrennten wie auch in den festsitzenden Kotyledonen fortwährend vermindert wird.

Das Verhalten des Rohrzuckers in den späteren Keimungsstadien. Die Dauer der oben erwähnten ersten Keimungsperiode, während welcher eine Verminderung der Rohrzuckermenge in den Kotyledonen stattfindet, dürfte wahrscheinlich bei den verschiedenen Erbsenvarietäten sehr variabel sein; bei den von mir benutzten Erbsen dürfte diese Periode etwa 5—6 Tage dauern. Indessen verschwindet der Rohrzucker in den Kotyledonen nicht ganz, und in den späteren Keimungsstadien kann eine Vermehrung des Rohrzuckers in den Kotyledonen eintreten. Dieser Rohrzucker muß auf Kosten der in den Kotyledonen vorhandenen Stärke gebildet sein. Die Bedeutung dieser Rohrzuckerbildung ist wahrscheinlich die, daß die Stärke in Rohrzucker verwandelt wird,

um als solcher von den Kotyledonen in die Embryonen zu wandern. Der in den späteren Keimungsstadien in den Kotyledonen vorhandene Rohrzucker ist somit nicht als Reservenahrung, sondern als Wanderform der Stärke zu betrachten. Die Richtigkeit dieser Anschauung geht aus verschiedenen Tatsachen hervor.

1. Wenn der in den Kotyledonen vorhandene Rohrzucker ein Wanderstoff sein soll, so muß (falls nicht eine Sekretion stattfindet) die Konzentration des Rohrzuckers in den Kotyledonen größer sein als in den Embryonen. Daß diese für die Diffusionsvorgänge allgemein gültige Regel auch bei der Translokation der Reservenahrung maßgebend ist, geht aus den Untersuchungen von Hansteen¹⁾ hervor. Dieser Forscher konnte nämlich zeigen, daß die Entleerung der auf Gipssäulchen befestigten Kotyledonen und Endosperme stark gehemmt wurde, wenn die Gipssäulchen in einer minimalen Wassermenge standen, indem dadurch das Konzentrationsgefälle bald aufgehoben wird.

Die Frage ist nun, wie man den Rohrzuckergehalt der Kotyledonen und der Embryonen vergleichen soll, da diese Organe einen höchst verschiedenen Wassergehalt besitzen. Die Menge des Rohrzuckers in Prozenten der Trockensubstanz anzugeben, hat keinen Sinn, da bei der Diffusion nur Lösungskonzentrationen eine Rolle spielen. Ich habe daher vorgezogen, die Rohrzucker- menge der Kotyledonen und der Embryonen in Prozenten des Wassergehaltes der genannten Organe auszudrücken.

Versuch 5. Benutzt wurden Erbsenkeimpflanzen mit einer Wurzellänge von 4—5 cm.

Kotyledonen, Portionen à 20 g, Wassergehalt 11,4 g.

Portion I.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0,6 mg Cu	355 mg Rohrzucker
„ „ nach	64,4 „ „	pro 20 g Wasser
		623 mg Rohrz.

Portion II.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,4 mg Cu	364 mg Rohrzucker
„ „ nach	63,8 „ „	pro 20 g Wasser
		638 mg Rohrz.

1) Hansteen, Über die Ursachen der Entleerung der Reservestoffe aus Samen. Flora, Bd. 79, 1894, S. 419.

Embryonen, Gewicht 9,8 g, Wassergehalt 8,6 g.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	3,1 mg Cu	76 mg Rohrucker
„ „ nach „	16,7 „ „	pro 20 g Wasser
		174 mg Rohrz.

Versuch 6.

Kotyledonen, Gewicht 20 g, Wassergehalt 10,3 g.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,8 mg Cu	369 mg Rohrucker
„ „ nach „	68,3 „ „	pro 20 g Wasser
		715 mg Rohrz.

Embryonen, Gewicht 4,5 g, Wassergehalt 3,88 g.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	3,3 mg Cu	26,6 mg Rohrucker
„ „ nach „	8,1 „ „	pro 20 g Wasser
		137 mg Rohrz.

Versuch 7. Benutzt wurden 8 Tage alte Erbsenkeimpflanzen mit einer Wurzellänge von 7—8 cm.

Kotyledonen, Gewicht 20 g, Wassergehalt 10,2 g.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0,5 mg Cu	78 mg Rohrucker
„ „ nach „	14,5 „ „	pro 20 g Wasser
		153 mg Rohrz.

Embryonen, Gewicht 16,8 g, Wassergehalt 14,2 g.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	32,5 mg Cu	65 mg Rohrucker
„ „ nach „	44,0 „ „	pro 20 g Wasser
		92 mg Rohrucker

Versuch 8 wurde mit 14 Tage alten Erbsenkeimpflanzen an- gestellt.

Kotyledonen, Gewicht 20 g, Wassergehalt 10,5 g.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0 mg Cu	209 mg Rohrucker
„ „ nach „	37,6 „ „	pro 20 g Wasser
		398 mg Rohrz.

Embryonen, Gewicht 12 g, Wassergehalt 10,0 g.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	28,2 mg Cu	42 mg Rohrucker
„ „ nach „	35,8 „ „	pro 20 g Wasser
		84 mg Rohrz.

Versuch 9. Benutzt wurden 10 Tage alte Erbsenkeimpflanzen.

Kotyledonen, Gewicht 40 g, Wassergehalt 22,1 g.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,0 mg Cu	410 mg Rohrucker
„ „ nach „	70,0 „ „	pro 40 g Wasser
		741 mg Rohrz.

Embryonen, Gewicht 13 g, Wassergehalt 11,0 g.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	12,6 mg Cu	53 mg Rohrucker
„ „ nach „	21,5 „ „	pro 40 g Wasser
		193 mg Rohr.

Aus den Versuchen 5—9 geht hervor, daß die Konzentration der nicht reduzierenden Zuckerarten bezw. des Rohrzuckers, in Prozenten des Wassergehaltes berechnet, in den Kotyledonen größer ist als in den Embryonen. Die Konzentration der direkt reduzierenden Zuckerarten scheint dagegen am größten in den Embryonen zu sein. Nach den Diffusionsgesetzen muß daher eine Wanderung des Rohrzuckers von den Kotyledonen in die Embryonen stattfinden.

2. Wenn der in den Kotyledonen vorhandene Rohrucker ein Wanderstoff sein soll, so muß man erwarten, daß in den Kotyledonen fortwährend eine Rohrzuckerbildung stattfindet. Diese läßt sich nachweisen, wenn man die Kotyledonen von den Embryonen trennt, indem dadurch die Auswanderung des Rohrzuckers aus den Kotyledonen sistiert wird. (Es ist dieses also gerade das Umgekehrte von dem, was in der ersten Keimungsperiode, als der Rohrzucker Reservenernahrung ist, stattfindet.)

Versuch 10. Von den von den Embryonen abgetrennten Kotyledonen wurden Portionen à 20 g gebildet. Diese wurden in atmosphärischer Luft gestellt. Mit passenden Zwischenräumen wurde eine Portion mit Alkohol extrahiert.

Portion I. Nach 24 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0 mg Cu	
„ „ nach „	40,6 „ „	226 mg Rohrucker.

Portion II. Nach 72 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0 mg Cu	
„ „ nach „	70,0 „ „	388 mg Rohrucker.

Portion III. Nach 168 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0 mg Cu	
„ „ nach „	69,2 „ „	384 mg Rohrucker.

Portion IV. Nach 288 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0 mg Cu	
„ „ nach „	113,3 „ „	628 mg Rohrucker.

Versuch 11 wurde in derselben Weise wie Versuch 10 an-
gestellt.

Portion I wurde sofort extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0,2 mg Cu	
„ „ nach „	67,8 „ „	375 mg Rohrzucker.

Portion II. Nach 96 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	2,0 mg Cu	
„ „ nach „	94,5 „ „	513 mg Rohrzucker.

Portion III. Nach 312 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0 mg Cu	
„ „ nach „	105,5 „ „	584 mg Rohrzucker.

Versuch 12. Benutzt wurden 8 Tage alte Erbsenkeim-
pflanzen, Wurzellänge 7—8 cm. Methodik wie in Versuch 10—11.
Dieser Versuch ist als Fortsetzung der Versuche 3—4 zu be-
trachten. Portionen à 20 g.

Portion I wurde sofort extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0,5 mg Cu	
„ „ nach „	14,5 „ „	78 mg Rohrzucker.

Portion II. Nach 48 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0,8 mg Cu	
„ „ nach „	25,0 „ „	134 mg Rohrzucker.

Portion III. Gleichfalls nach 48 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,5 mg Cu	
„ „ nach „	22,5 „ „	117 mg Rohrzucker.

Versuch 13. Die benutzten Erbsenkeimpflanzen waren 11 Tage
alt, Portionen à 20 g.

Portion I wurde sofort extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,2 mg Cu	
„ „ nach „	22,5 „ „	118 mg Rohrzucker.

Portion II. Nach 48 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,5 mg Cu	
„ „ nach „	32,0 „ „	169 mg Rohrzucker.

Portion III. Nach 120 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,0 mg Cu	
„ „ nach „	51,1 „ „	277 mg Rohrzucker.

Versuch 14. Die benutzten Keimpflanzen waren 10 Tage alt, Portionen à 20 g.

Portion I wurde sofort extrahiert.

Reduktionsbestimmung.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,0 mg Cu		192 mg Rohrzucker.
„ „ nach „	35,5 „ „		

Polarisationsbestimmung.

Ohne Inversion. Drehung + 10,4'

Nach „ „ + 2,7'

Diff. 7,7' entsprechend 213 mg Rohrz.

Portion II. Nach 96 Stunden extrahiert.

Reduktionsbestimmung.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	0,8 mg Cu		330 mg Rohrzucker.
„ „ nach „	60,0 „ „		

Polarisationsbestimmung.

Ohne Inversion. Drehung + 12,3'

Nach „ „ 0

Diff. 12,3' entsprechend 336 mg Rohrz.

Versuch 14. Die benutzten Erbsenkeimpflanzen waren 10 Tage alt, Portionen à 40 g.

Portion I wurde sofort extrahiert.

Reduktionsbestimmung.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,0 mg Cu		383 mg Rohrzucker.
„ „ nach „	70,0 „ „		

Polarisationsbestimmung.

Ohne Inversion. Drehung + 24,3'

Nach „ „ + 7,8'

Diff. 16,5' entsprechend 448 mg Rohrz.

Portion II. Nach 192 Stunden extrahiert.

Reduktionsbestimmung.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,0 mg Cu		628 mg Rohrzucker.
„ „ nach „	114,0 „ „		

Polarisationsbestimmung.

Ohne Inversion. Drehung + 25,9'

„ „ + 4,2'

Diff. 21,7' entsprechend 581 mg Rohrz.

Also: wenn man bei älteren Erbsenkeimpflanzen die Kotyledonen von den Embryonen trennt, so findet, wie es aus den Versuchen 10—14 hervorgeht, eine Vermehrung des Rohrzuckers in den Kotyledonen statt.

Wenn die in den Kotyledonen vorhandene Stärke als Rohrzucker in die Embryonen transportiert wird, so muß man erwarten, daß dort ein ständiger Verbrauch von Rohrzucker stattfindet. Wenn daher die Zufuhr von Rohrzucker durch Abtrennung der Kotyledonen sistiert wird, muß man erwarten, daß der Verbrauch des Rohrzuckers eine Verminderung der Rohrzuckerkonzentration in den Embryonen verursacht.

Versuch 15. Benutzt wurden 2 Portionen Embryonen à 5 g.

Portion I wurde sofort extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	4,6 mg Cu		
„ „ nach „	20,2 „ „		87 mg Rohrzucker.

Portion II. Nach 24 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,5 mg Cu		
„ „ nach „	3,5 „ „		11,1 mg Rohrzucker.

Versuch 16. 2 Portionen Embryonen à 12 g.

Portion I wurde sofort extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	28,2 mg Cu		
„ „ nach „	35,8 „ „		42 mg Rohrzucker.

Portion II. Nach 48 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	3,0 mg Cu		
„ „ nach „	4,8 „ „		10 mg Rohrzucker.

Versuch 17. 2 Portionen Embryonen à 13 g.

Portion I wurde sofort extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	12,6 mg Cu		
„ „ nach „	21,5 „ „		49,5 mg Rohrzucker.

Portion II. Nach 48 Stunden extrahiert.

Fehlingsche Lösung ohne Inversion	1,0 mg Cu		
„ „ nach „	1,5 „ „		2,8 mg Rohrzucker.

Aus den Versuchen 15—17 geht hervor, daß der in den Embryonen vorhandene Rohrzucker bei Abtrennung der Kotyledonen schnell vermindert wird. Die Embryonen verhalten sich also den Kotyledonen gegenüber ganz entgegengesetzt.

3. Die Richtigkeit der oben erwähnten Anschauung, daß der in den Kotyledonen vorhandene Rohrzucker als Wanderform der Stärke zu betrachten ist, wird auch dadurch erwiesen, daß nur sehr kleine Mengen von direkt reduzierenden Zuckerarten in den Kotyledonen vorhanden sind. Dieses geht aus allen angestellten Versuchen hervor. Die Konzentration der direkt reduzierenden Zuckerarten überschreitet kaum 0,5% des Wassergehaltes in den Kotyledonen. Diese Menge ist so gering, daß sie als Wanderstoffe kaum in Betracht kommen können, um so mehr als die Konzentration der direkt reduzierenden Zuckerarten, wie es aus den Versuchen 5—9 hervorgeht, in den Embryonen wahrscheinlich größer ist als in den Kotyledonen.

V. Schluß.

Fassen wir das Ergebnis der angestellten Versuche zusammen¹⁾, so ergibt sich, daß man bei der Keimung der Erbse, jedenfalls bei einigen Varietäten, zwei Stadien unterscheiden kann.

Im ersten Keimungsstadium wird der in den ungekeimten Erbsen vorhandene Rohrzucker teilweise verbraucht, teils für Wachstum, teils für Respiration. In abgetrennten Kotyledonen findet eine Rohrzucker Verminderung statt.

Im zweiten Keimungsstadium ist der in den Kotyledonen vorhandene Rohrzucker als Wanderform der Stärke zu betrachten. Dies geht aus dem Folgenden hervor: 1. Die Rohrzuckerkonzentration ist größer in den Kotyledonen als in den Embryonen. 2. In abgetrennten Kotyledonen findet eine Rohrzucker Vermehrung statt, in abgetrennten Embryonen dagegen eine Rohrzucker Verminderung. 3. Es finden sich in den Kotyledonen nur unbedeutende Mengen direkt reduzierender Zuckerarten.

Über die Bildungsweise des Rohrzuckers besagen die angestellten Versuche nichts. Immerhin erscheint mir aber eine Rohrzuckerbildung aus Maltose recht unwahrscheinlich²⁾, und es bleibt

1) Über die Bedeutung des Rohrzuckers vgl. auch Schulze u. Frankfurt, Zeitschr. physiol. Chem., 20, S. 544, 1895.

2) Brown and Morris (a. a. O. S. 518) haben doch gezeigt, daß Gerstenembryonen aus Maltose, dagegen nicht aus Dextrose Rohrzucker bilden können, was für eine direkte Umbildung von Maltose in Rohrzucker spricht. Nach Grüss (Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., 19, S. 17, 1898) aber können Gerstenembryonen auch aus Dextrose Rohrzucker bilden.

daher wohl nur die Annahme übrig, daß die Stärke zu Monosacchariden hydrolysiert wird, und daß diese dann wieder zu Saccharose synthetisiert werden.

Es ist nun von Interesse einige Versuche anderer Forscher über Stoffwanderung zum Vergleich heranzuziehen. In den ausgezeichneten Versuchen von Puriewitsch³⁾ über die Entleerung von abgetrennten Reservestoffbehältern finden sich auch quantitative Experimente über die Natur und die Menge der Entleerungsprodukte. Es zeigte sich dabei, daß neben direkt reduzierenden Zuckerarten auch eine größere oder kleinere Menge von invertierbarem Zucker nachgewiesen werden konnte. Als Versuchsobjekte dienten *Zea Mays*, *Phaseolus multiflorus*, *Dahlia variabilis* und *Beta vulgaris*, mit *Pisum sativum* wurden keine quantitative Versuche angestellt. Es deuten diese Versuchsergebnisse darauf hin, daß auch bei anderen Pflanzenarten als *Pisum* invertierbare Zuckerarten als Wanderstoffe in Betracht kommen.

Wie oben erwähnt wurde, haben Brown und Morris gefunden, daß die Saccharosebildung bei der Keimung der Gerste fast ausschließlich auf die Keime beschränkt ist. Die Endosperme enthalten dagegen Maltose in reichlicher Menge. Die Verfasser schließen daher, „that transformed starch is absorbed from the endosperm by the columnar epithelium of the embryo in the form of maltose, and that this maltose by the more or less complicated metabolic processes of the living cells of the embryo is rapidly converted into cane-sugar“. Übrigens geben die Verfasser zu, daß die Kohlehydrate bei den Gramineen hauptsächlich als Saccharose oder als deren Inversionsprodukte wandern.

Über den Kohlehydratstoffwechsel von *Beta vulgaris* hat Ruhland¹⁾ Versuche angestellt. Er findet, daß der Zucker nicht als Rohrzucker, sondern als Invertzucker der Wurzel zugeführt wird. In der zweiten Vegetationsperiode dagegen wandert der

Es bleibt daher die Möglichkeit übrig, daß in den Versuchen von Brown and Morris eine Hydrolyse der Maltose zu Monosacchariden stattgefunden hat, und daß der Rohrzucker aus diesen gebildet ist.

3) Puriewitsch, Physiologische Untersuchungen über die Entleerung der Reservestoffbehälter. Pringsheims Jahrb., 31, S. 1, 1897.

1) Ruhland, Untersuchungen über den Kohlenhydratstoffwechsel von *Beta vulgaris*. Pringsheims Jahrb., 50, S. 200, 1911.

Zucker innerhalb der Wurzel als Rohrzucker und wird erst beim Eintritt in die Blätter gespalten.

Aus alledem geht hervor, daß vermutlich sowohl Mono- wie Disaccharide als Wanderformen der Stärke auftreten können. Ob die eine oder die andere dieser Verbindungen als Wanderstoff verwendet wird, wird durch die spezifischen Eigenschaften des betreffenden Pflanzenteiles bestimmt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik](#)

Jahr/Year: 1915

Band/Volume: [56](#)

Autor(en)/Author(s): Boysen Jensen Peter

Artikel/Article: [Über synthetische Vorgänge im pflanzlichen Organismus. II. Vorkommen, Bedeutung und Bildung des Rohrzuckers bei der Keimung von *Pisum sativum*. 431-446](#)