

AUS DEM PFLANZENPHYSIOLOGISCHEN LABORATORIUM DES BOTANISCHEN INSTITUTS DER UNIVERSITÄT TARTU, ESTLAND

---

**DAS VERHALTEN DER EIWEISSSTOFFE  
GESUNDER UND ABBAUKRANKER KARTOFFEL-  
KNOLLEN GEGEN SALZE**

VON

**HUGO KAHO**

---

TARTU 1935



## Einleitung.

Bekanntlich enthalten die Zellen des Reservegewebes der Kartoffelknollen außer der überwiegenden Menge von Kohlehydraten auch etwas Eiweißstoffe. Die letzteren sind im Zellsaft gelöst und bestehen hauptsächlich aus Tuberin, einem Pflanzenglobulin.

Die Struktur der Biokolloide bestimmt das physiologische Verhalten einer Pflanze gegen die Außenwelt und bildet die Grundlage für den normalen Stoffwechsel. So hat der Verfasser gefunden<sup>1)</sup>, daß das Protoplasma abbaukranker Kartoffelknollen eine größere Permeabilität für Wasser und für die im Zellsaft gelösten Stoffe aufweist, als das Plasma gesunder Knollen. Aus Abbauknollen hervorgegangene Kartoffelpflanzen sind aus Zellen aufgebaut, die eine abnorme Permeabilität besitzen. Eine normale Entwicklung (Wasserhaushalt, Stoffwechsel) solcher Pflanzen ist nur unter ganz speziellen Außenbedingungen möglich, welche nicht immer vorhanden sind.

Vermutlich liegt der Grund der anormalen Permeabilität in einer (ob reversiblen?) Veränderung der Feinstruktur der Biokolloide des Protoplasmas, deren Kolloidzustandes. Da der Kolloidzustand des Eiweißes eines Organismus oft charakteristisch für die physiologischen Vorgänge in ihm ist, so entstand bei mir die Frage, ob beim Reserveeiweiß der Abbauknollen, im Vergleich mit dem der Vitalknollen, gewisse bemerkbare Abweichungen im Verhalten gegen Neutralsalze nachzuweisen seien.

Das Reserveeiweiß der Kartoffel, von Osborne und Campbell<sup>2)</sup> Tuberin genannt, bildet das Hauptprotein der Knollen. Es ist zum größten Teil im Zellsaft in Gegenwart von geringen Salzmengen gelöst. Sjollem a und Rinkes konnten bei der Hydrolyse die Mehrzahl der allgemein auftretenden

---

1) K a h o, H., Zur Physiologie der Kartoffel I. Über die Permeabilität des Knollengewebes der vitalen und abbaukranken Kartoffeln. *Phytopathologische Zeitschr.* 8. 1935.

2) Zit. nach Czapek (1925).

Aminosäuren bei Tuberin nachweisen (Trier 1924). Den Daten von Hungerbühler<sup>1)</sup> nach enthalten Knollen 18,83<sup>0</sup>/<sub>100</sub> an Trockensubstanz (in Prozenten des Frischgewichts), und hiervon Eiweiß — N 0,904<sup>0</sup>/<sub>100</sub><sup>2)</sup>.

### Versuche.

Versetzt man den Preßsaft einer Kartoffelknolle mit etwas Wasser, so erhält man nach Abfiltrieren eine kolloide Flüssigkeit, die Proteinstoffe des Zellsaftes der Knollenzellen gelöst enthält, während die Eiweißkomponenten des Protoplasmas in Wasser unlöslich sind (Lepeschkin 1923, 1924, 1926).

Bei der chemischen Analyse des Protoplasmas von *Fuligo varians* sagt Lepeschkin (1923): „Die wasserlöslichen Stoffe des Plasmodiums befinden sich hauptsächlich in Vakuolen und teilweise auch im Protoplasma-Wasser gelöst; sie hatten für mich eine untergeordnete Bedeutung, weil mich die Zusammensetzung der Grundmasse des Protoplasmas interessierte, welche in Wasser unlöslich ist und welche als alleiniger Sitz der Lebensfähigkeit betrachtet werden kann“.

Der abfiltrierte Preßsaft gibt alle üblichen Eiweiß-Farbenreaktionen, wie die Biuret'sche, die Millon'sche, die Xanthoprotein- und die Schwefelbleireaktion<sup>3)</sup>. Die Flüssigkeit enthält keine Stärke, die Jodprobe fällt negativ aus. Außer dem Eiweiß enthält die Preßsaftlösung noch eine leicht nachweisbare Menge von reduzierenden Zuckern. Erwärmt man den Auszug bis ca. 70<sup>0</sup>, so wird das Eiweiß in der Regel ausgeflockt, es bildet sich ein starker grobflockiger Niederschlag.

Ogleich wir es mit einem Gemisch von verschiedenen Stoffen zu tun haben, scheint in diesem das Verhalten des Tuberins gegen Salze den Ausschlag zu geben. Die in sehr kleinen Mengen vorhandenen Begleitstoffe sind in allen Versuchen annähernd dieselben. Die Versuche ergaben auch mit denselben Kartoffelsorten immer dieselben Resultate, während sie bei verschiedenen Sorten etwas verschieden ausfielen (vgl. die Koagulationstemperaturen auf Seite 11 und 12).

1) Zit. nach Czapek (1925).

2) Mittelwerte aus 3 Analysen: vom 23. und 30. Juni und vom 30. Juli.

3) Die älteren Beobachtungen von Hartig und Sachs hatten bereits ergeben, daß das Zytoplasma die gewöhnlichen Eiweißreaktionen nicht direkt zu geben pflegt (Czapek 1925).

Meine Absicht war das Kartoffeleiweiß bei gesunden und abbaukranken Knollen in nativem Zustande zu untersuchen. Für diesen Zweck war es aber schwer das Eiweiß in reinem Zustande zu gewinnen, da es bei der Einwirkung der gebräuchlichen Reagenzien seine kolloiden Eigenschaften veränderte.

Da bei den Versuchen ziemlich hohe Konzentrationen der Salze (0,5—1,0 n.) in Betracht kamen, war es sicher, daß das Verhalten des Eiweißes durch Beimengungen wie Zucker, Solanin und andere organische Stoffe des Zellsaftes nicht merklich beeinflußt würde.

Zu den Versuchen wurden mit einem Hornmesser geschälte und gewogene Knollenstücke<sup>1)</sup> (15—30 g aus einer Knolle) auf einer Aluminiumreibe zerrieben, worauf der Gewebebrei, mit dem gleichen Quantum Wasser versetzt, in einem Porzellanmörser gut durchgerieben und filtriert wurde. Zu den Versuchen diente das Filtrat.

### Das Aussalzen des Eiweißes. ( $t^0 = 20.$ )

#### Versuch 1. „Allerfrüheste Gelbe“ (gesund).

Knollengewichte 92 g und 50 g, Salze in substantia bis 6 norm. bzw., je nach der Löslichkeit, bis zur Sättigung der Lösung.

	KJ	KCl	KCNS	KNO <sub>3</sub> <sup>2)</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <sup>2)</sup>
Sofort:	+ <sup>3)</sup>	+++	+	-	-
Nach 24 Stunden:	++++	+++ $\bar{}$	+++	+	+

Der Versuch 1 zeigt, daß die Fällungskraft der Kaliumsalze in bezug auf das Kartoffeleiweiß nach der folgenden Anionenreihe abnimmt:  $J > Cl > CNS > NO_3, SO_4$ .

1) Das Versuchsmaterial (Ernte 1934) stammt aus der estländischen Versuchsstation zu Jõgeva (Leiter Herr J. Aamisepp).

2) Ein Teil des Salzes bleibt ungelöst. Der Niederschlag ist nach 24 Stunden in allen Probegläsern schwarz geworden.

3) + bedeutet schwache Trübung bzw. schwachen Niederschlag; ++++ starke Ausflockung; ++ und +++ sind Zwischenstufen; - bedeutet keine Veränderung.

### Versuch 2. „Bravo“ (Blattroller).

Knollengewichte 18 g und 15 g<sup>1)</sup>. Salze wie beim Vers. 1.

	KCNS	KCl	KJ	KNO <sub>3</sub> <sup>2)</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <sup>2)</sup>
Nach 24 Stunden:	+++	+++	++	-	-

Bei „Bravo“ ist die Fällungskraft der K-Salze die folgende:  
CNS > Cl > J > NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>.

Die Versuche 1 und 2 zeigen, daß Neutralsalze das Kartoffeleiweiß nur in sehr hohen Konzentrationen zu fällen vermögen. Der geringeren Löslichkeit einiger Salze wegen ist es nicht möglich alle Lösungen in gleich hoher Konzentration herzustellen, um ihr Fällungsvermögen unter gleichen Bedingungen zu prüfen. Dieser Umstand macht die Ergebnisse der Ausfällungsversuche unsicher, und es kann ihnen daher nur ein orientierender Wert zugesprochen werden. Aus diesem Grunde wurde in den folgenden Versuchen die Kolloidaktivität der Salze in Verbindung mit der Hitzekoagulation des Eiweißes untersucht.

### Versuch 3. „Maercker“ (gesund).

Knollengewichte 65 g und 55 g.

2 ccm Auszug + 2 ccm Salz 1 norm.,

bis zum Kochen erhitzt.

KCNS	KJ	KNO <sub>3</sub>	K-Azetat	KCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K-Tartrat
++++	+++	+++	++	++	+	+
NaCNS	NaJ	NaNO <sub>3</sub>	NaCl	Na-Tartrat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na-Zitrat
++++	++++	+++	++	++	++	++

Die untersuchten K- und Na-Salze fördern die Hitzekoagulation des „Maercker“-Eiweißes wie folgt:

K-Salze: CNS > J > NO<sub>3</sub> > Azetat > Cl > SO<sub>4</sub>, Tartrat.

Na-Salze: CNS, J < NO<sub>3</sub> > Cl, Tartrat > SO<sub>4</sub>, Zitrat.

### Versuch 4. „Allerfrüheste Gelbe“ (gesund).

Knollen 25 g, 18,5 g, 20 g, 23 g.

2 ccm Auszug + 2 ccm Salz 1 norm.,

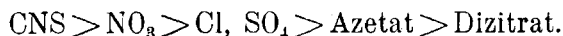
bis zum Kochen erhitzt.

1) Wenn zwei oder mehrere Knollen angegeben sind, so bedeutet dieses, daß der Auszug gleichzeitig aus allen diesen Knollen gewonnen wurde.

2) Ein Teil des Salzes ungelöst.

NH <sub>4</sub> CNS	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> -Azetat	NH <sub>4</sub> -Dizitrat
++++	++++	+++	+++	++	++
7,5 <sup>1)</sup>	7	6	6	4,5	4

Die Ammoniumsalze fördern die Hitzeagerinnung des Eiweißes der „Allerfrühesten Gelben“ nach folgender Anionenreihe:



## Versuch 5.

## Kationen.

## „Maercker“ (gesund).

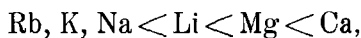
Knollengewicht 70 g.

2 ccm Auszug + 2 ccm Salz 1 norm.,

bis zum Kochen erhitzt.

RbCl	KCl	NaCl	LiCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>
++	++	++	+++	+++	++++

Die Kationen der Chloride fördern die Hitzeokoagulation des „Maercker“-Eiweißes wie folgt:



die zweiwertigen Kationen haben somit eine größere Kolloidaktivität.

## Versuch 6. „Bravo“ (Blattroller).

Knollengewichte 20 g und 17 g.

Das übrige wie beim Vers. 5.

KCNS	KJ	KNO <sub>3</sub>	K-Azetat	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KCl	K-Tartrat
++++	+++	+++	++	++	+	+
Höhe des Sediments in mm nach dem Zentrifugieren						
7	6	6	4,5	4	2,5	2,5

Vergleicht man die Wirkung der K-Salze auf die Abbauknolle „Bravo“ (Vers. 6) mit derjenigen auf die Vitalknolle „Maercker“ (Vers. 3), so ergibt sich, daß die Wirkung der Salze in beiden Fällen fast die gleiche ist. Das etwas abweichende Verhalten des Chlorids und Sulfats hat bei der gegebenen Versuchsanordnung keine wesentliche Bedeutung.

1) Die Zahlen bedeuten die Höhe des Niederschlages in mm nach dem Zentrifugieren, das in allen Fällen mit einer Handzentrifuge durch 30 gleichmäßige Kurbelumdrehungen ausgeführt wurde. Die Höhenangabe des Sediments bezieht sich auf die üblichen konischen Probelgläser.

### Versuch 7. Das Umladen des Kartoffeleiweißes. „Allerfrüheste Gelbe“.

Knollengewichte 76 g, 51 g und 60 g.  
Der Auszug enthält 0,02 norm. NaOH,  
2 ccm Auszug + 1 ccm Salz 1 n., bis zum Kochen erhitzt.

KCNS	KJ	KNO <sub>3</sub>	KCl	K-Azetat	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K-Tartrat
—	—	—	++	+++	++++	++++
0	0	0	4 mm	6	7,5	9
2 ccm Auszug + 2 ccm Salz 1 n., das übrige wie oben. Höhe des Sediments nach dem Zentrifugieren.						
0	3 mm	6	8	9	9	10

Wie Vers. 7 zeigt, kehrt die Anionenreihe beim Versetzen des Kartoffeleiweißes mit etwas Lauge sich um:  $CNS < J < NO_3 < Cl < Azetat < SO_4 < Tartrat$ . Dieser Umstand ist aus der Kolloidchemie der Eiweißkörper gut bekannt (Höber 1926, Bechhold 1929).

### Mg-Salze und Alkalierden.

#### Versuch 8. „Majestic“.

Knollengewichte 38,5 g und 48,5 g.  
1 ccm Auszug + 2 ccm Salz 2 norm.

Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	MgBr <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	Ca(CNS) <sub>2</sub>	CaBr <sub>2</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>
Ohne Erhitzen							
—	—	—	—	+++	++	++	++
Nach dem Erhitzen bis zum Kochen							
4 mm <sup>1)</sup>	4	3,5	3,5	4,5	4,5	4	3,5
Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	SrCl <sub>2</sub>	BaBr <sub>2</sub>	BaCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K-Tartrat	Kontrolle	
Ohne Erhitzen							
++	++	++	++	—	—	—	
Nach dem Erhitzen bis zum Kochen							
5 mm	4,5	4,5	4,5	2,5	2,5	2,5	

Der Versuch 8 zeigt, daß Ca-, Sr- und Ba-Salze (1,33 norm.) das Kartoffelweiß in der Kälte leicht fällen, Mg-Salze aber nicht. Nach dem Erhitzen bis zum Kochen ist der Niederschlag bei den Ca-, Sr-, und Ba-Salzen etwas stärker als bei den Mg-Salzen. Die zum Vergleich herangezogenen Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> und K-Tartrat bewirken den gleichen Niederschlag wie der Kontrollversuch.

1) S. die Anmerkung beim Versuch 4.

In allen angeführten Versuchen ist die Aktivität der einzelnen Salze, vom Standpunkt der Wirkung der Anionen auf die Eiweißkoagulation gesehen, mehr oder weniger deutlich ausgeprägt. Es kommen aber ab und zu Fälle vor (bei Abbauknollen weniger oft), in denen verschiedene Salze, die übliche optimale Salzkonzentration vorausgesetzt, fast die gleiche Wirkung haben.

#### Versuch 8a. „Early rose“.

2 ccm Auszug + 2 ccm Salz 1 n., erhitzt bis zum Kochen.

	KCNS	KJ	KNO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KCl	K-Tartrat	K-Azetat
	Sedimenthöhe in mm nach dem Zentrifugieren.						
a) Gesund, 54 g	5	5	5	5	4	4	4
b) Kräuseln, 39 g	7	7	7	6	6	6	5

Der Vers. 8a zeigt, daß in den beiden Fällen (a und b) Wirkungsunterschiede bei der Mehrheit der Anionen fehlen, bzw. viel kleiner sind als gewöhnlich. Das Eiweiß der Vitalknolle ist etwas resistenter gegen Salze (Niederschlag geringer!), als das der Abbauknolle.

### Die Koagulationstemperaturen des Kartoffeleiweißes bei steigender Temperatur.

Um feinere Unterschiede der Wirkungen der Salze auf die Hitzeagulation des Kartoffeleiweißes zu studieren, wurden noch folgende Versuche ausgeführt.

In einer mit zwei parallelen Glaswänden versehenen Messingwanne (8,5 × 8,5 × 16 cm, Inhalt — 1000 ccm) wurden jedesmal 500 ccm dest. Wasser mit einem Gasbrenner erhitzt. In dieses Bad tauchte man ein dünnes Probeglas mit 3 ccm Kartoffeleiweiß + Salz, sowie ein in 0,1 Grade geteiltes Thermometer. Der Hitzeagulationspunkt des Eiweißes wurde bei einer bestimmten Trübungsstufe der Lösung festgesetzt, welche durch das Verschwinden der Schrift einer gut belichteten Tageszeitung hinter der undurchsichtig gewordenen Eiweißlösung ermittelt wurde (vgl. Pauli 1899).

Das Ansteigen der Temperatur des Wassers in der Wanne ging gleichmäßig vor sich und dauerte bis zur Erreichung von 70° durchschnittlich ca. 7,5 Minuten.

## Beeinflussung der Hitzeerinnungstemperatur des Kartoffeleiweißes durch Salze.

1 ccm Auszug + 2 ccm Salz 1 norm.

Koagulationstemperatur in °C.

A.

Vers.	Sorte	An.		Kontr.	CNS	J	Aze- tat	NO <sub>3</sub>	Tart- rat	Cl	SO <sub>4</sub>
		Kat.									
9.	„Väike verev“ (gesund) Mittelwert	Kalium	74,8	65,8	67,5	68,0	68,5	70,2	69,8	71,2	
			75,3	66,4	68,5	68,3	68,3	69,0	69,5	72,0	
			75,5	66,3	68,1	68,2	68,4	69,3	69,6	71,8	
			75,5	66,1	68,0	68,2	68,4	69,5	69,6	71,6	
	„Väike verev“ (gesund) Mittelwert	Natrium	—	66,2	65,5	67,5	68,0	69,5	69,4	72,6	
			—	67,0	65,8	67,6	68,3	69,0	69,5	74,0	
			—	66,9	66,0	67,5	68,1	69,6	69,3	73,8	
			—	66,7	65,8	67,5	68,1	69,4	69,4	73,8	
10.	„Väike verev“ (mosaikkrank) Mittelwert	Kalium	72,1	62,0	65,3	67,0	68,5	69,0	69,3	70,8	
			72,4	62,5	65,1	66,8	67,6	68,3	68,5	71,0	
			72,3	62,7	65,0	67,2	67,9	68,9	69,0	71,1	
			72,3	62,4	65,1	67,0	68,0	68,7	68,9	71,0	
	„Väike verev“ (mosaikkrank) Mittelwert	Natrium	—	62,9	61,8	65,5	68,3	69,4	69,5	70,2	
			—	63,5	61,4	65,0	67,5	69,0	69,2	71,3	
			—	63,2	62,0	65,6	68,1	69,1	69,4	71,2	
			—	63,2	61,7	65,4	67,9	69,2	69,7	70,9	

Die Koagulationsversuche bei steigender Temperatur (Nr. 9—16, s. Übersichtstabelle, S. 13) zeigen, daß alle Salze die Hitzeerinnung des Kartoffeleiweißes fördern, die Koagulationstemperatur (K. T.) ist bei Zusatz von Salzen niedriger als ohne Salz<sup>1)</sup>. Die einzige Ausnahme bildet der Vers. 12 („Reichskanzler“, mosaikkrank), in welchem von den Na-Salzen das Chlorid und Sulfat die K. T. etwas erhöhten. Solche Fälle sind in der Regel sehr selten. Wenn man die Aktivität der Anionen vergleicht, so sieht man im allgemeinen keinen prinzipiellen Unterschied hinsichtlich der Wirkung auf das Eiweiß der gesunden und der abbaukranken Knollen: in beiden Fällen haben wir dieselben Anionenreihen erhalten, und zwar die folgenden (s. Übersichtstabelle üb. d. Wirkung der Anionen, S. 11).

1) Bei der Ermittlung der Koagulationstemperatur ohne Salz wurde zum Auszug soviel dest. Wasser hinzugefügt wie bei den Salzversuchen die Menge der Salzlösung betrug.

## Koagulationstemperatur in °C.

## B.

Vers.	Sorte	An.		Kontr.	CNS	J	NO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
		Kat							
11.	„Reichs- kanzler“ (gesund) Mittelwert	Natrium	Koaguliert	—	73,5	76,0	76,4	76,5	
			nicht beim Kochen	—	74,0	75,8	75,5	76,1	
				—	73,7	76,0	76,4	75,7	
				—	74,0	76,0	76,1	76,1	
	„Reichs- kanzler“ (gesund) Mittelwert	Ammonium	—	71,5	—	72,5	72,5	74,0	
—			72,0	—	72,4	73,0	73,4		
—			72,1	—	72,1	73,2	73,6		
—			71,9	—	72,3	72,9	73,7		
12.	„Reichs- kanzler“ (mosaikkrank) Mittelwert	Natrium	70,3	—	62,1	69,2	71,5	72,3	
			70,2	—	61,4	68,7	70,8	72,7	
			70,4	—	61,7	68,9	71,3	71,8	
			70,3	—	61,7	68,9	71,2	72,3	
	„Reichs- kanzler“ (mosaikkrank) Mittelwert	Ammonium	—	60,2	—	65,8	68,2	70,3	
—			60,8	—	65,2	69,0	69,7		
—			61,2	—	65,3	68,3	70,5		
—			60,7	—	65,4	68,5	70,2		
C.	„Early rose“ (gesund) Mittelwert	Natrium	86,0	—	73,5	74,5	74,4	75,2	
			87,2	—	71,6	74,0	74,5	75,5	
13.	„Early rose“ (gesund) Mittelwert	Natrium	86,4	—	72,2	74,2	74,6	74,5	
			86,5	—	72,3	74,2	74,5	75,1	
14.	„Early rose“ (Blattroller) Mittelwert	Natrium	75,6	—	70,2	72,8	73,1	75,5	
			76,4	—	68,9	73,2	72,6	73,5	
			76,0	—	69,2	73,0	73,6	74,0	
			76,0	—	69,4	73,0	73,1	74,3	

Übersichtstabelle über die Wirkung der Anionen auf die K. T. des Eiweißes der Vital- und der Abbauknollen.

Kation Anion →

K — CNS > J > Azetat > NO<sub>3</sub> > Tartrat, Cl > SO<sub>4</sub>

Na — J > CNS > Azetat > NO<sub>3</sub> > Tartrat, Cl > SO<sub>4</sub>

NH<sub>4</sub> — CNS > NO<sub>3</sub> > Cl > SO<sub>4</sub>

Mg — Br > NO<sub>3</sub> > Cl > SO<sub>4</sub>

Ca — CNS > Br > NO<sub>3</sub> > Cl

Die Wirkung der Anionen kommt in einer Salzgruppe, z. B. bei den Alkalisalzen, im allgemeinen deutlicher zum Vorschein als die der Kationen, obwohl die Wirkungsunterschiede zwischen

## Koagulationstemperatur in °C.

C.

Vers.	Sorte	An.		Kontr.	CNS	J	Br	NO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
		Kat.								
15.	„Majestic“ (gesund)	Natrium	73,5	—	66,8	—	69,4	70,2	72,8	
			74,2	—	66,5	—	69,0	71,0	73,0	
			73,8	—	67,0	—	68,8	70,8	72,6	
	Mittelwert		73,8	—	66,8	—	69,1	70,6	72,8	
	„Majestic“ (gesund)	Kalzium	—	51,5	—	55,6	56,2	61,5	—	
			—	52,0	—	56,0	57,3	61,6	—	
—			51,0	—	55,8	56,6	62,0	—		
Mittelwert		—	51,3	—	55,8	56,7	61,7	—		
	„Majestic“ (gesund)	Magnesium	—	—	—	63,5	64,4	66,2	68,5	
			—	—	—	63,0	64,0	66,0	68,0	
	Mittelwert		—	—	—	63,4	64,3	65,8	69,0	
			—	—	—	63,4	64,2	66,0	68,6	
E. 16.	„Bravo“ (Kräuseln)	Natrium	70,6	—	62,3	—	67,6	68,5	70,3	
			70,5	—	61,5	—	67,0	67,9	70,0	
			70,0	—	61,8	—	66,8	67,9	69,8	
	Mittelwert		70,4	—	61,9	—	67,1	68,1	70,0	
	„Bravo“ (Kräuseln)	Kalzium	—	54,0	—	57,3	57,5	63,0	—	
			—	54,5	—	56,5	58,0	62,4	—	
—			55,0	—	56,0	57,3	62,0	—		
Mittelwert		—	54,5	—	56,0	57,6	62,5	—		
„Bravo“ (Kräuseln)	Magnesium	—	—	—	61,0	62,6	66,5	67,5		
		—	—	—	60,0	63,0	65,3	68,1		
		—	—	—	61,5	62,0	65,7	68,0		
		—	—	—	61,5	62,5	65,8	67,8		

dem Tartrat, dem Chlorid und dem Sulfat (bzw. Zitrat) nicht immer gut ausgeprägt sind. Aus diesem Grunde hat die nicht ganz übereinstimmende Stellung dieser Anionen in den Versuchen 3—6 und in der unten folgenden Tabelle (S. 13) keine große Bedeutung.

## Besprechung der Ergebnisse.

Die bei den Versuchen erhaltenen Anionenreihen sind die Hofmeister'schen (1887, Pauli 1902) oder die lyotropen (Freundlich 1920) Reihenfolgen. Den genannten Autoren nach wird natives Hühnereiweiß durch Alkalisalze (z. B. Na-Salze) nach der folgenden Anionenreihe gefällt<sup>1)</sup>:

1) Die Rhodanide und Jodide fällen natives Eiweiß nicht.

## Übersichtstabelle über die Versuche 9—16.

Vers.	Sorte	Kat.	A n i o n →						Ohne Salz	
			CNS	J	Aze- tat	NO <sub>3</sub>	Tart- rat	Cl		SO <sub>4</sub>
9.	„Väike verev“, gesund, 44 g	K Na	Koagulationstemperatur in °C						75,2 —	
			66,1	68,0	68,2	68,4	69,5	69,6		71,6
10.	„Väike verev“, mosaikkr., 18 g, 19 g	K Na	62,4	65,1	67,0	68,0	68,7	68,9	71,0	72,3 —
			63,2	61,7	65,4	67,9	69,2	69,7	70,9	
			CNS	J	Br	NO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ohne Salz	
11.	„Reichskanzler“, gesund, 37,5 g	Na NH <sub>4</sub>	—	74,0	—	76,0	76,1	76,2	keine Koagul. beim Kochen	
			71,9	—	—	72,3	72,9	73,7		
12.	„Reichskanzler“, mosaikkr., 72,5 g	Na NH <sub>4</sub>	—	61,7	—	68,9	71,2	72,3	70,3 —	
			60,7	—	—	65,4	68,5	70,2		
13.	„Early rose“, gesund, 41 g	Na	—	72,3	—	74,2	74,5	75,1	86,5	
14.	„Early rose“, Blatt- roll., 39 g	Na	—	69,4	—	73,0	73,1	74,3	76,0	
15.	„Majestic“, gesund, 55 g	Na	—	66,8	—	69,1	70,6	72,8	73,8	
		Ca	51,3 <sup>1)</sup>	—	55,8	56,7	61,7	—	—	
		Mg	—	—	63,4	64,2	66,0	68,6	—	
16.	„Bravo“, Kräuseln, 15 g, 13 g	Na	—	61,9	—	67,1	68,1	70,0	70,4	
		Ca	54,5 <sup>1)</sup>	—	56,6	57,6	62,5	—	—	
		Mg	—	—	61,5	62,5	65,8	67,8	—	

CNS, J < NO<sub>3</sub> < Cl < Azetat < Tartrat < Zitrat < SO<sub>4</sub>. Dieselbe Ionenreihe hat auch für das Laugeneiweiß Geltung. In saurer Lösung kehrt sich die Reihenfolge um, d. h. die Wirksamkeitssteigerungen von Ion zu Ion sind der obigen Reihe entgegengesetzt:

$$\text{CNS} > \text{J} > \text{Br} > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{Azetat} \text{ (Höber 1926).}$$

Unsere Anionenreihen haben sich als die umgekehrten lyotropen Reihen erwiesen.

Etwaige Abweichungen sind Versuchsfehlern und insbesondere dem Umstande zuzuschreiben, daß die Versuche nicht mit chemisch reinen Stoffen ausgeführt wurden.

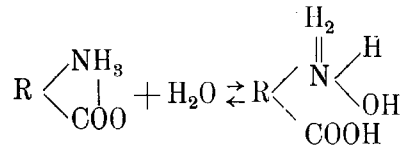
1) Beim Hinzusetzen aller Ca-Salzlösungen erschien im Eiweiß ein schwacher durchsichtiger Niederschlag, welcher beim Erhitzen bei den angegebenen Temperaturen undurchsichtig wurde.

Die umgekehrten Anionenreihen zeigen, daß das Kartoffel-eiweiß ein sog. Säureeiweiß (positives Eiweiß) ist.

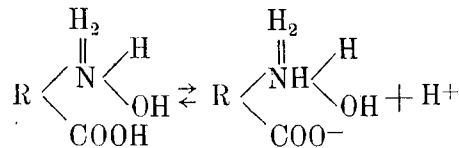
Nach Hardy<sup>1)</sup> und Pauli (1920) können wir elektrisch neutrales Eiweiß nach dem Schema eines zyklischen Ammonium-

salzes  $R \begin{array}{l} \swarrow \text{NH}_3 \\ | \\ \searrow \text{COO} \end{array}$  darstellen. Bekanntlich besteht das bei Unter-

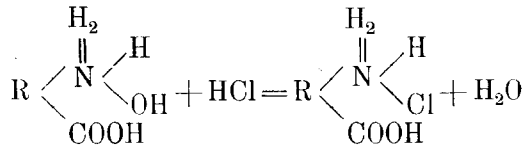
suchungen verwendete Eiweiß (verschiedene Sera u. and.) überwiegend aus Monoaminosäuren. Diese zeigen, als amphotere Elektrolyte, eine größere Fähigkeit zur Ionisation von H-Ionen, als von OH-Ionen, und sind deswegen schwache Säuren. Dasselbe kann auch für Eiweiß maßgebend sein, welches nach der Anlagerung von Wasser nach dem Schema



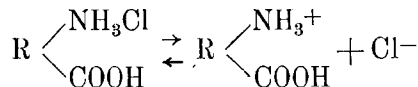
eine sehr kleine Anzahl negativer Eiweißionen und H-Ionen dissoziiert:



Durch Zusatz von Säure, z. B. HCl, wird Eiweißsalz gebildet,



welches positive Eiweißionen und Cl-Ionen dissoziiert:



Das Ionisationsmaximum (dialysiertes Rinderserum, Eiweißgehalt ca. 1%) wurde in den Versuchen von Pauli und Handowsky (1909) durch dem Eiweiß zugesetzte HCl bei ca 0,0016—0,02 norm. erreicht. Durch einen weiteren Zusatz

1) Zit. nach Pauli (1920).

von Säure wurde die Ionisation durch das gemeinsame Cl-Ion allmählich zurückgedrängt, und es bildeten sich neutrale Eiweiß-

teilchen R  $\begin{cases} \text{NH}_3\text{Cl} \\ \text{COOH} \end{cases}$ . Ungefähr dieselben Ionisationsverhältnisse

wurden zuerst von Laqueur und Sackur (1903) bei Alkali-kaseinaten gefunden. Diese Autoren bewiesen, daß die Eiweiß-ionen die Träger der hohen inneren Reibung sind, eine Tatsache, die durch die starke Hydratation (Wasserbindung) der Eiweiß-ionen erklärt wird. Mit dem Anwachsen der Zahl der Eiweiß-ionen wird eine Eiweißlösung stabiler und gegen dehydrierende Zustandsänderungen resistenter. So z. B. unterbleibt nahe beim Ionisationsmaximum die Hitzeegerinnung, die Eiweißlösung bleibt beim Kochen unverändert. Infolge eines weiteren Zusatzes von Säure, bzw. Neutralsalzen, tritt die Hitzeokoagulation wieder auf. Bei einer schwächeren Ionisation kann die Koagulations-temperatur des ionischen Eiweißes höher liegen, als beim elektrisch neutralen Eiweiß.

In den lebensstätigen Zellen der Kartoffelpflanze findet man im Safttraum neben gelöstem Eiweiß immer organische Säuren, der Zellsaft reagiert sauer. Wegen der Fähigkeit der Eiweißkörper Säuren zu binden ist es sehr wahrscheinlich, daß die Kartoffelproteine mit gewissen Säuren des Zellsaftes Eiweißsalze bilden. Die letzteren können stark ionisiert sein; darauf weist der Umstand hin, daß bei unseren Versuchen Fälle vorkamen, in welchen die Eiweißlösung (der Auszug) beim Kochen unverändert blieb, d. h. eine Ausflockung unterblieb; in anderen Fällen war in der durchsichtigen Lösung nur eine leichte Trübung zu bemerken. Solche Fälle waren ziemlich selten. Eine Gegenüberstellung der K. T-en aus den Versuchen 9—16 zeigt uns folgendes:

#### K. T-en von Kartoffeleiweiß ohne Zusatz von Salz.

Zustand \ Sorte	„Väike verev“	„Reichskanzler“	„Early rose“	„Majestic“
	Gesund	75,2 <sup>0</sup>	Beim Kochen unverändert	86,5 <sup>0</sup>
Abbaukrank	72,3 <sup>0</sup>	70,3 <sup>0</sup>	76,0 <sup>0</sup>	„Bravo“ 70,4 <sup>0</sup>
N a c h 2 4 S t u n d e n				
Gesund	—	75,5 <sup>0</sup>	—	Beim Kochen unverändert
Abbaukrank	—	67,8 <sup>0</sup>	—	



Nach 24 Stunden wurde der Knollenauszug braun bis schwarz (vgl. Bechhold und Erbe 1932). Man sah in der Flüssigkeit feine schwarze Teilchen suspendiert; nach dem Filtrieren wurde die Farbe etwas heller. Die Hitzegerinnung des Filtrates war immer anders als die des frischen Auszuges. Die K. T-en waren entweder niedriger, oder — was öfter zutraf — die Hitzekoagulierbarkeit ging ganz verloren. Dem Anscheine nach geht beim Stehen zum Teil Eiweißabbau vor sich.

Wie der Versuch 7 zeigt, läßt sich das Kartoffeleiweiß durch einen Zusatz von Lauge leicht umladen: die Anionenreihe kehrt sich um. Dabei ist kein prinzipieller Unterschied zwischen dem Eiweiß der gesunden und der kranken Knollen zu bemerken. Im folgenden ist die Verschiebung der K. T-en in alkalischer Lösung dargestellt:

Übersichtstabelle über die Versuche 17—24.

Vers.	Sorte	Laugengehalt im Eiweiß	Kation	J	Br	NO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
17.	„Imperator“, gesund, 63 g	Kontrolle (ohne Lauge)	Na	Koagulationstemperatur in °C				
				61,7	—	67,5	70,3	72,7
18.		0,02 norm. NaOH im Eiweiß	Na	72,1	—	71,9	70,5	71,8
19.		0,04 norm. NaOH	Na	79,7	—	76,9	74,1	70,2
20.		0,025 norm. NaOH	Mg	—	52,0	52,7	55,3	59,1
21.		0,04 norm. NaOH	Mg	—	+++	+++	++	+
				Ausflockung ohne Erhitzen				
22.	„Bravo“, Kräusel, 24 g; 12 g	Kontrolle (ohne Lauge)	Na	63,6	—	68,5	71,7	73,1
23.		0,04 norm. NaOH	Na	86,0	—	79,0	75,5	71,5
24.		do	Mg	—	59,2	57,6	61,3	64,0

Dem Kontrollversuche (Nr. 17) nach fördern die Na-Salze die Hitzegerinnung in der lyotropen Reihenfolge:  $J > NO_3 > Cl > SO_4$ , wobei die K. T. zwischen 61,7° und 72,7° schwankt.

Bei 0,02 norm. NaOH in der Eiweißlösung haben die Salze ungefähr die gleiche Wirkung (Vers. 18), die Aktivität der energiereicheren wirkenden Anionen ( $J, NO_3$ ) ist schwächer geworden und ist etwa der des Sulfats gleich. Bei weiterem Zusatz von Lauge kehrt sich die Anionenreihe um (Vers. 19):  $J < NO_3 < Cl < SO_4$ , die K. T-en sind durchschnittlich um ca.  $8^\circ$  höher als beim Kontrollversuch. Bei Mg- und Ca-Salzen gelang es nicht durch Zusatz von Alkali eine Umkehrung der Anionenreihen zu erzielen. Im Verhalten des Eiweißes der Abbauknollen gegen die Salze in alkalischer Lösung besteht kein wesentlicher Unterschied.

Ohne Zusatz von Neutralsalzen ist das Kartoffeleiweiß nicht weniger empfindlich gegen Lauge als ein dialysiertes Serum oder natives Hühnereiweiß. Der nachstehende Versuch (25) zeigt, wie verschiedene NaOH-Konzentrationen die Hitzekoagulation des Eiweißes beeinflussen.

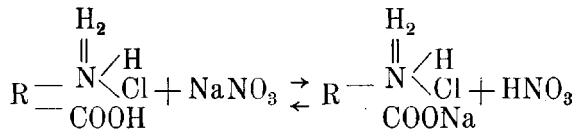
Versuch 25. „Imperator“, 98 g.

Koagulationstemperatur (K. T.) des Auszuges ohne Lauge — $72,0^\circ$	
Konzentration von NaOH im Auszug	Konzentration von NaOH im Auszug
$\frac{1}{300}$ n. — beim Kochen unverändert	$\frac{1}{1800}$ n. — $\frac{1}{4800}$ n. K. T. ca. $75-76^\circ$
$\frac{1}{600}$ n. — „ „ leichte Trübung	$\frac{1}{5400}$ n. „ „ $73,8^\circ$
$\frac{1}{900}$ n. — K. T. $97-100^\circ$	$\frac{1}{6000}$ n. „ „ $72,0^\circ$
$\frac{1}{1200}$ n. — „ „ $85,5^\circ$	$\frac{1}{7200}$ n. „ „ $72,2^\circ$
$\frac{1}{1500}$ n. — „ „ $77,2^\circ$	

In alkalischer Lösung bilden sich mit Basen Eiweißsalze, welche stark ionisiert sind. Im angeführten Versuch Nr. 25 war der Einfluß von NaOH noch bei der Konz.  $\frac{1}{5400}$  n. im Sinne einer Erhöhung der K. T. zu bemerken (es wurde die Koagulation des Laugeneiweißes gleichzeitig mit der des gewöhnlichen beobachtet), und erst bei NaOH  $\frac{1}{6000}$  n. war kein Unterschied mehr wahrnehmbar. Bezüglich theoretischer Ausführungen über das Alkalieiweiß sei auf die Arbeit von Pauli und Handowsky (1910) und auch auf die von Pauli (1920) hingewiesen.

Kehren wir zur Wirkung der Neutralsalze zurück. Die Salze fördern die Hitzeegerinnung des Kartoffeleiweißes, was auf einer Verminderung der Zahl der Eiweißionen und auf der Bildung elektrisch neutraler Teilchen beruht. Pauli und Handowsky (1909) erklären das in folgender Weise. Gemäß dem oben an-

geführten Schema (s. S. 14) des Säureeiweißes würde das Kation des hinzugesetzten Neutralsalzes (z. B.  $\text{NaNO}_3$ ) an die Stelle des Wasserstoffions der Carboxylgruppe treten:



Treten nun starke An- und Kationen mit dem Eiweiß in Reaktion, so wird die Ionisation fast vollständig unterdrückt, da die entgegengesetzten Ionisierungstendenzen sich das Gleichgewicht halten werden. Durch die Entstehung elektrisch neutraler Eiweißteilchen wird die Hitze koagulation gefördert.

Wenn normalerweise die K. T. des Kartoffeleiweißes hoch ist, d. h. wenn es stärker ionisiert ist, so wird die K. T. durch Salze mehr herabgesetzt. So beträgt z. B. bei „Early rose“ (Vers. 13) die normale K. T.  $86,5^{\circ}$ , durch die Salzreihe  $\text{NaJ} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$  wird sie auf  $72,3^{\circ}$  bis  $75,1^{\circ}$ , also um ca.  $11-14^{\circ}$  herabgesetzt. Bei „Majestic“ (Vers. 15) ist die normale K. T.  $73,8^{\circ}$  und wird durch dieselben Salze auf  $66,8^{\circ}$  bis  $72,8^{\circ}$ , also um  $1-7^{\circ}$  herabgesetzt. Jedoch sind alle K. T-en bei „Early rose“ verhältnismäßig höher.

Vergleicht man die durch Alkalisalze beeinflussten K. T-en, so springt der Umstand in die Augen, daß für das Eiweiß der gesunden Knollen die K. T-en höher sind. Die Differenzen der K. T-en (Na-Salze, Vers. 9—16) gesund — abbaukrank stellen sich wie folgt:

	CNS	J	$\text{NO}_3$	Cl	$\text{SO}_4$
			$^{\circ}\text{C}$		
„Väike verev“	3,5	4,1	0,2	0,3	2,5
„Reichskanzler“	—	12,3	7,1	4,9	3,9
„Early rose“	—	2,9	1,2	1,4	0,8
„Majestic“ — „Bravo“	—	4,9	2,0	2,5	2,8

Die Differenzen der K. T-en nehmen ungefähr in der lyotropen Reihenfolge  $\text{J} \rightarrow \text{SO}_4$  ab. Eine etwas größere Hitzeresistenz beim Eiweiß der gesunden Knollen weist auf eine größere Zahl von Eiweißionen hin. Vielleicht steht dieses in einer gewissen Beziehung zu der von Boas (1910)<sup>1)</sup> bei gesunden Kartoffelpflanzen gefundenen größeren Azidität des Zellsaftes. Er sagt: „Es wurde nun fast ausnahmslos gefunden, daß die gesunden Pflanzen einen merkbar saueren Zellsaft besitzen als die

1) Zit. nach Merckenschlager 1929.



(vgl. „Reichskanzler“, „Early rose“, gesund, und auch den Vers. 8a).

Da das Eiweiß einer jeden Kartoffelsorte bis zu einem gewissen Grade individuelle Eigenschaften besitzen kann, demnach die K. T-en der Vital- und Abbauknollen bei der einen Sorte beide höher oder niedriger liegen können, als bei der anderen, so dürfte die Tatsache, daß die durch die Anionen der lyotropen Reihe bewirkte Temperaturamplitude bei gesunden Knollen kleiner und bei kranken größer ist, streng genommen nur für eine und dieselbe Sorte maßgebend sein.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß das Eiweiß gesunder Knollen durchschnittlich mehr ionisiert ist, als das der Abbauknollen.

Was die Wirkung der Kationen anbelangt, so gilt für sie die Reihenfolge:  $Rb, K < Na < NH_4 < Li < Mg < Ca, Sr, Ba$ . Die einwertigen Kationen besitzen eine bei weitem kleinere Aktivität als die zweiwertigen, insbesondere als die Ca-, Sr- und Ba-Salze, welche schon in ziemlich schwachen Konzentrationen (ca. 0,5—1 n.) bei Zimmertemperatur das Kartoffeleiweiß fällen. In alkalischer Lösung wird die Wirkung der zweiwertigen Kationen im gleichen Sinne noch etwas stärker.

Soweit es die hier beschriebenen Versuche zeigen, besteht kein wesentlicher Unterschied zwischen der Wirkung der Kationen auf das Eiweiß der gesunden und der kranken Knollen.

---

## Kurze Zusammenfassung.

Es wurde das Verhalten des im Zellsaft gelösten Eiweißes der gesunden und der abbaukranken Kartoffelknollen gegen Neutralsalze untersucht.

Durch K- und Na-Salze wird das Eiweiß in sehr hohen Konzentrationen (bis 6 norm.) und unvollständig ausgesalzt, Ca-, Sr- und Ba-Salze fällen es in mittleren Konzentrationen (ca. 0,5—1,0 n.) leicht, die Mg-Salze nehmen eine Mittelstellung zwischen den beiden genannten Salzgruppen ein.

Bei den Alkalisalzen ist die Wirkung der Anionen deutlicher ausgeprägt, als diejenige der Kationen. Die Salze fördern die Hitzeoagulation des Kartoffeleiweißes nach der umgekehrten lyotropen Reihenfolge:  $\text{CNS} > \text{J} > \text{Azetat} > \text{NO}_3 > \text{Tartrat}, \text{Cl}, \text{SO}_4$ . Bei den Alkalierten ist die Wirkung der Anionen etwas weniger deutlich; auch hier wird dieselbe Reihenfolge eingehalten:  $\text{CNS} > \text{Br} > \text{NO}_3 > \text{Cl} > (\text{SO}_4)^1$ .

Das Kartoffeleiweiß ist ein Säureeiweiß (positives Eiweiß); in schwach alkalischer Lösung erfolgt die Umbildung des Säureeiweißes in Alkalieiweiß (negatives Eiweiß); die oben angeführte Wirkungsreihe der Anionen kehrt sich bei Alkalisalzen um, während sie bei Erdalkalien dieselbe bleibt.

Die Kationen wirken in der Reihenfolge:  $\text{Rb}, \text{K} < \text{Na} < < \text{NH}_4 < \text{Li} < \text{Mg} < \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ . Die zweiwertigen Kationen üben eine bedeutend größere Aktivität aus als die einwertigen. In schwach alkalischer Lösung wird die Wirkung der Erdalkalitionen etwas stärker.

Im Verhalten des Eiweißes der kranken Knollen gegen Salze ist kein prinzipieller Unterschied zu konstatieren. Der einzige Unterschied besteht, soweit es die vorliegenden Versuche zeigen, darin, daß das Eiweiß der gesunden Knollen mehr ionisiert und infolgedessen etwas stabiler gegen dehydrierende Zustandsänderungen ist.

1) Bei Mg-Salzen.

## Literatur.

- Bechhold, H., 1929, Die Kolloide in Biologie und Medizin. Leipzig.
- Bechhold, H. und Erbe, F., 1932, Zur Biologie der Kartoffel, 16. Mitt., Arb. aus d. biol. Reichsanst. **20**.
- Czapek, F., 1925, Biochemie der Pflanzen, Bd II.
- Freundlich, H., 1920, Kapillarchemie. Leipzig.
- Höber, R., 1926, Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe. Leipzig.
- Hofmeister, Fr., 1887, Zur Lehre von der Wirkung der Salze, Arch. f. experim. Pathol. und Pharm. **24**.
- Lepeschkin, W. W., 1923, Über die chemische Zusammensetzung des Protoplasmas des Plasmodiums, Ber. der deutsch. botan. Ges. **41**.
- 1924, Kolloidchemie des Protoplasmas. Berlin.
- 1926, Über die chemische Zusammensetzung der lebenden Materie, Biochem. Zeitschr. **171**.
- Merkenschlager, F., 1929, Zur Biologie der Kartoffel, 2. Mitt., Arb. aus d. biol. Reichsanst. **17**.
- Pauli, Wo., 1899, Die physikalischen Zustandsänderungen der Eiweißkörper, Pflügers Arch. **78**.
- 1902, Das Verhalten der Eiweißkörper gegen Elektrolyte, Beitr. zur chem. Physiol. und Pathol. **3**.
- 1920, Kolloidchemie der Eiweißkörper. Leipzig.
- Pauli, Wo. und Handowsky, H., 1909, Studien am Säureeiweiß, Biochem. Zeitschr. **18**.
- — 1910, Studien am Alkaleieiweiß, Biochem. Zeitschr. **24**.
- Trier, G., 1924, Chemie der Pflanzenstoffe.