

# Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

## Abteilung Pflanzliche Erzeugung

Gustav-Kühn-Straße 8, 04159 Leipzig

Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>

Bearbeiter: Dr. Hartmut Kolbe

Dr. Kasimiera Zgorska, Institut für Kartoffelforschung, Serock, Polen

E-Mail: [hartmut.kolbe@smul.sachsen.de](mailto:hartmut.kolbe@smul.sachsen.de)

Tel.: 0341 9174-149 Fax: 0341 9174-111

## Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel

### X. Zellwandverbindungen

#### 1. Zusammensetzung, Funktion und Bedeutung der Zellwände in Kartoffeln

Jede pflanzliche Zelle ist umgeben von stabilen Zellwänden. Sie geben den Zellverbänden Halt und regeln den interzellulären Stoffaustausch sowie die Schaderregerabwehr bei Verwundung und Infektion. In Kartoffelknollen bestehen die Zellwände des Speichergewebes vorwiegend aus dem sog. Primärwänden und den Mittellamellen (siehe Abb. 1 u. Tab. 1).

Nach heutiger Vorstellung weist die Zusammensetzung der Zellwände eine Multi-Netzwerk-Struktur auf. Ein Netzwerk von sehr reißfesten Cellulose-Fibrillen ist in eine Matrix aus langkettigen Hemicellulosen, Pektinen und Zellwandproteinen eingebettet. Das Netzwerk der Pektine wird durch zweiwertige Kationen (Ca, Mg) zusammengehalten. Auf diese Weise sorgen besonders die Pektine der Mittellamellen für den Zellzusammenhalt. Angaben über die Gehalte an Gerüstsubstanzen können in Kartoffelknollen erheblich schwanken, weil je nach verwendeter Analysenmethode unterschiedliche Bestandteile erfasst werden (% i. d. Trs.):

- „ <b>Naturfaser (nicht verdaubar)</b> “	<b>9,3 – 12,5</b>
- „ <b>Zellwandmaterial</b> “	<b>5,2 – 9,6</b>
- „ <b>Ballaststoffe</b> “	<b>5,0 – 12,5</b>
- „ <b>Polysaccharide (außer Stärke)</b> “	<b>3,5</b>
- „ <b>Rohfaser</b> “	<b>1,4 – 3,1.</b>

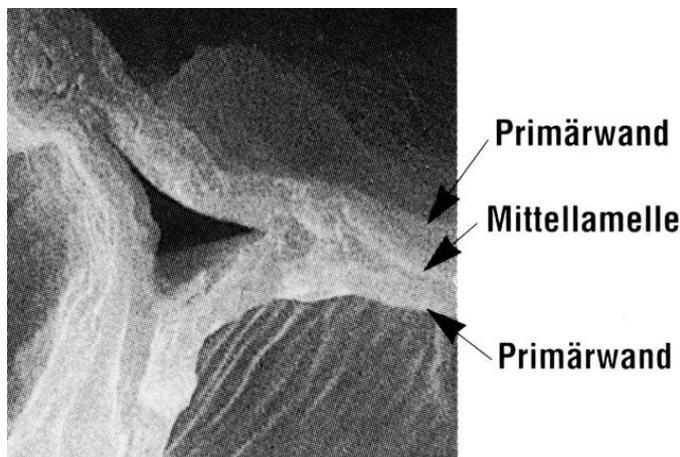
Die Zellwand- und Gerüstsubstanzen treten im Schalenbereich in höheren Konzentrationen auf als im Innern der Knollen. Je nach verwendeter küchentechnischer Aufbereitung und Verarbeitung kommt es entweder zu einer Abnahme oder zu einer Aufkonzentrierung der Gehalte dieser Strukturkomponenten (% Rohfaser i. d. Trs.):

- <b>roh, mit Schale</b>	<b>1,5</b>
- <b>Kochen mit Schale</b>	<b>1,3</b>
- <b>Kochen ohne Schale</b>	<b>1,1</b>
- <b>Pommes frites</b>	<b>3,2</b>
- <b>Chips</b>	<b>11,9.</b>

Zellwandverbindungen sind wichtig für bestimmte Qualitätseigenschaften von Kartoffelprodukten sowohl bei der küchentechnischen als auch bei der industriellen Verarbeitung. Für die Konsistenz des Knollenfleisches beim Kochvorgang z.B. ist die Cellulose für die Festigkeit der Zellwände von Bedeutung, so dass ein Zerplatzen der Zellwände verhindert wird, während die Stärke in den Zellen verkleistert wird. Ein Zerreißen der Zellwände führt dagegen zu einer unerwünschten klebrigen und gummiartigen Beschaffenheit des Knollenfleisches.

**Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der Zellwände von Kartoffelknollen**

Verbindung	Hauptbestandteile	Rel. Gehalte (Zellwände $\approx$ 100 %)
Cellulose	1 $\rightarrow$ 4 $\beta$ -Glucose	15 – 27
Lignin	Phenylpropan	6,0 – 7,5
Hemicellulose	1 $\rightarrow$ 4 $\beta$ -Glucose, $\alpha$ -Xylose, $\alpha$ -Arabinose, $\beta$ -Galactose, Mannose, Hetero-Glucane	6,0 – 10
Pektine	Nicht wasserlöslich (Protopektin)	49 – 65
	Wasserlöslich ( $\alpha$ -Galacturonsäure, $\alpha$ -Rhamnose, $\beta$ -Galactose, $\alpha$ -Fucose, $\alpha$ -Arabinose, Mannose, Xylose)	14 – 25
Glykoproteine	Hydroxyprolin, Prolin, Lysin, Serin, Arabinose, Galactose	6,5 – 9,8
Mineralstoffe	Asche (u.a. Mg, Ca)	2,3 – 4,5



**Abb. 1: Mikroskopischer Aufbau (12000-fach) der Zellwände von Kartoffelknollen im Schnittbild von 3 Zellen (MÜLLER, 1988)**

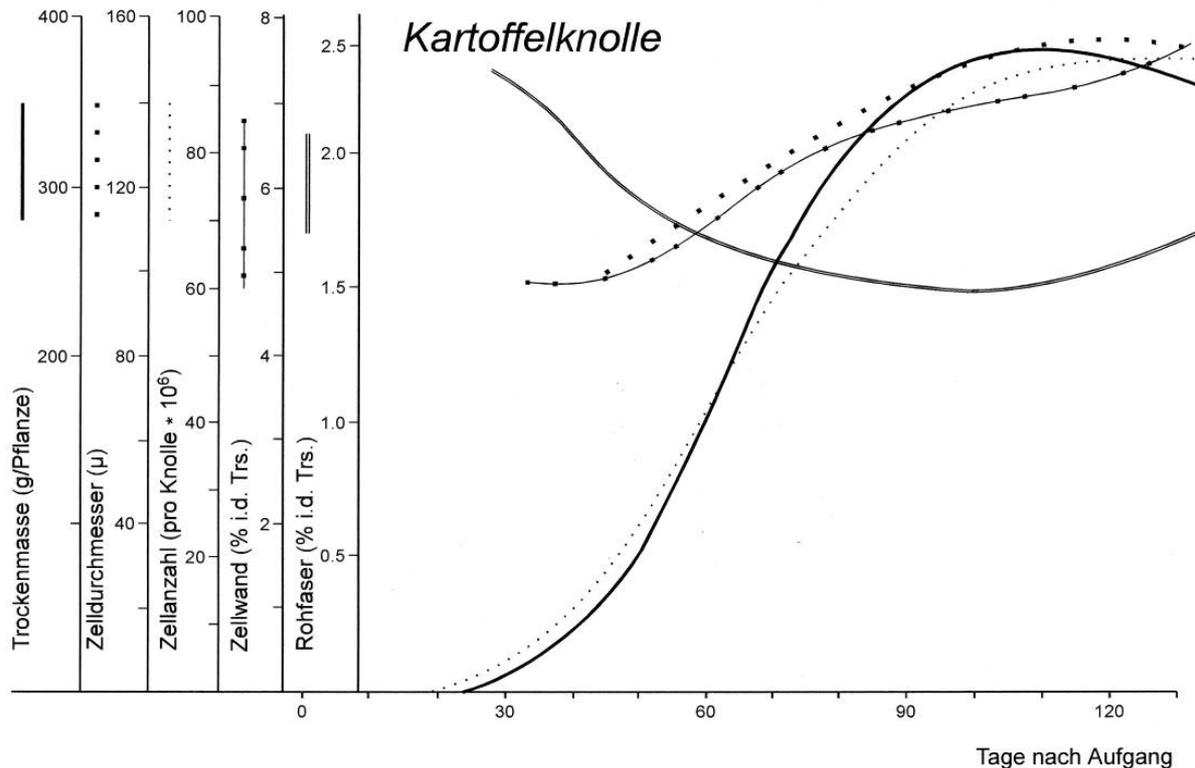
Der Anteil und die Zusammensetzung der Pektinstoffe ist demgegenüber wichtig für den Zusammenhalt des Zellverbandes. Beim Kochvorgang werden die Ca-Brücken nach und nach frei und die Pektinketten werden verkürzt. Hierdurch wird ein Teil des Protopektins wasserlöslich (gelförmig) und der Zellverband wird gelockert. Sorten, die wenig lösliches Pektin enthalten sind daher festkochend, Sorten mit großen Zellen erscheinen grobkörniger.

Für die menschliche Ernährung ist eine ballaststoffreiche Kost wünschenswert. Sie trägt zur Verringerung der Transitzeit des Stuhls, zur Abnahme unerwünschter oder schädlicher Stoffe und sogar zur Vorsorge gegenüber Dickdarmkrebs bei. Ballaststoffe wirken günstig auf den Zuckerstoffwechsel (wichtig für Diabetiker) und senken den Cholesterin-Gehalt, außerdem wird eine Steigerung der Immunabwehr vermutet.

In gut 200 g Kartoffeln oder 25 g Chips sind die gleichen Ballaststoff-Mengen enthalten wie in 1 Scheibe Vollkornbrot (von 35 g). Für den Menschen wird eine Aufnahme von 30 g Ballaststoffen je Tag empfohlen. Mit einem Verzehr von ca. 150 g Kartoffeln (inkl. Verarbeitungsprodukten) können somit 10 – 15 % der täglichen Aufnahme abgedeckt werden.

## 2. Entwicklung im Verlauf der Vegetation

Aus Abbildung 2 ist die Entwicklung wichtiger Zellwandverbindungen in Kartoffelknollen im Verlauf der Vegetation dargestellt worden. Parallel zum Anstieg des Knollenertrages erfolgt eine Zunahme der Zellanzahl, des Zelldurchmessers sowie der Gehalte an Zellwandmaterial. Bei Kartoffelknollen erfolgt (im Gegensatz zu Getreidekörnern) eine Zellneubildung praktisch während der ganzen Vegetation. Die höchste Aktivität der Bildung an Verbindungen ist aber im Bereich 60 - 75 Tage nach Aufgang. In dieser Zeit bildet ein Kartoffelbestand fast 25 kg Zellwände, 6,5 kg Cellulose und 4,7 kg Rohfaser je Hektar und Tag.



**Abb. 2: Entwicklung von Komponenten der Zellwände von Kartoffelknollen im Vergleich zum Trockenmasseertrag im Verlauf der Vegetation**

Die Veränderung der Zusammensetzung der Zellwände (ohne Hemicellulose) im Verlauf der Vegetation ist aus Abbildung 3 zu ersehen. Die rel. Anteile an Pektin (in der Abbildung ist das lösliche Pektin als Anteil vom Protopektin ausgewiesen) und an Lignin nehmen mit der Zeit deutlich zu, die Anteile an Cellulose nehmen dagegen ab. Der Anteil des löslichen Pektins am Protopektin (= 100 %) ist im Laufe der Vegetation von ausgangs 31 % kontinuierlich auf 37,5 % angestiegen. Der Veresterungsgrad (ein Maß für das Quellungsvermögen) des Pektins nimmt unter Beachtung deutlicher Jahresschwankungen im Verlauf der Vegetation ebenfalls zu. Unreif geerntete Knollen weisen hiernach rel. geringe Gehalte an Zellwänden auf. Ihre Lignin- und Pektinanteile sind niedrig, ihre Cellulosewerte sind dagegen höher als bei erntereifen Knollen.

### 3. Einfluss des Wetters

Den Einfluss steigender Temperatur und Sonneneinstrahlung auf die Gehalte an Zellwand- und Schalenbestandteilen geht aus Abbildung 4 hervor. Es wird deutlich, dass eine steigende Temperatur zu einer erheblichen Zunahme der Gehalte an diesen Strukturelementen führt. Je 1 °C Temperaturanstieg (Durchschnitt der Monate Mai bis einschließlich August) kann ein Anstieg der Zellwandgehalte von ca. 1 % veranschlagt werden. Hauptsächlich dürfte dies auf die abfallenden Werte an Stärkeeinlagerung zurückzuführen sein (Konzentrationseffekt). Darüber hinaus ist aber bekannt, dass bei hohen Temperaturen sowohl die Kork-Schichten der Knollenschale durch Zunahme der Zelllagen als auch die Schalenfestigkeit erhöht wird. Bei hohen Temperaturen erscheinen außerdem die Zellen großlumiger und die Zellwände rel. schmal, sie können erhöhte Gehalte an Pektinstoffen aufweisen (siehe Abb. 7).

Steigende Sonneneinstrahlung führt zwar zu einem Anstieg der Synthese höherpolimerer Substanzen, zu denen auch Zellwandverbindungen zählen. Da aber die Synthese und Einlagerung des Hauptertragsbildners Stärke in höherer Rate erfolgt, ist meistens kein Einfluss oder eine geringe Abnahme der Konzentrationen an Zellwandmaterial zu registrieren (Abb. 4).

Eine weitere klimatische Einflussgröße ist die Wasserversorgung bzw. die Niederschlagstätigkeit. Diese Effekte sind aber indirekt über Unterschiede in der Pflanzenernährung wirksam. Bei starken Niederschlägen wird Stickstoff verlagert und damit weniger aufgenommen, die P-Verfügbarkeit und Aufnahme erhöht sich dagegen. Beide Wirkungen führen dann zu einem von der Bodenart abhängi-

gen z. T. deutlichen Anstieg der Zellwand- und Schalenanteile in den Kartoffelknollen, wie aus nachfolgendem Kapitel zu ersehen ist.

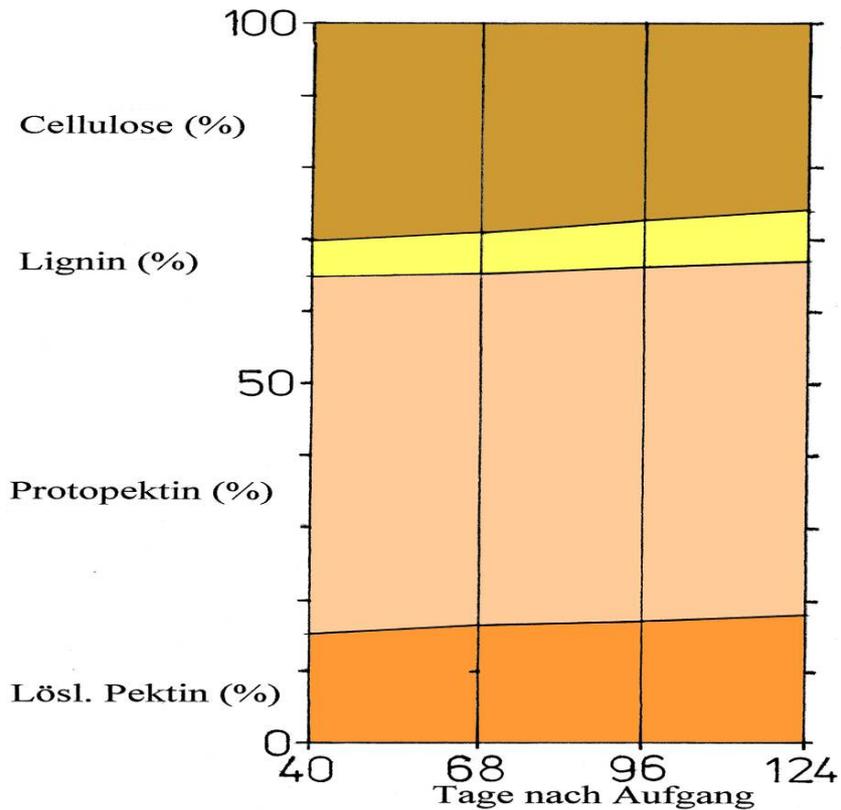


Abb. 3: Entwicklung der Zusammensetzung der Zellwände (= 100 %) im Verlauf der Vegetation (nach ZGORSKA, 1987)

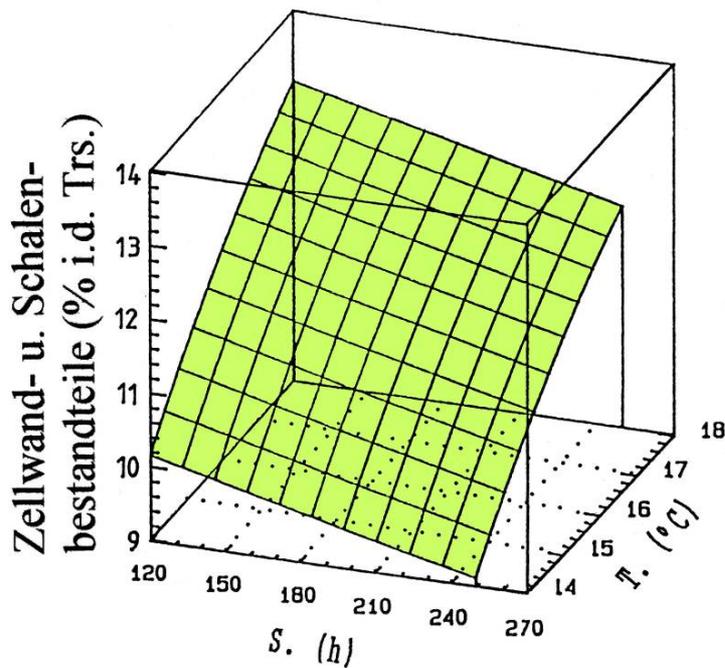


Abb. 4: Einfluss von Temperatur (T. in °C) und Sonnenscheindauer (S in h) auf die Gehalte von Zellwand- und Schalenmaterial bei Kartoffeln

#### 4. Einfluss der Nährstoffversorgung

Besonders Unterschiede in der N-Ernährung von Kartoffelkulturen haben einen Einfluss auf die Zellwand- und Schalengehalte in Kartoffelknollen (Abb. 5). Im unteren und mittleren Versorgungsbereich der landwirtschaftlichen Praxis (N-Gehalt zwischen 1,3 - 2 % N, 0,2 - 0,4 % P) sind allerdings nur geringe Einflüsse zu erwarten. Erst nach hoher N-Versorgung (etwas auch nach überhöhter K-Versorgung) nehmen diese Komponenten in den Kartoffelknollen immer deutlicher ab. Gleichzeitig kann eine Verkleinerung der Zellgröße festgestellt werden. Steigende P-Versorgung führt dagegen zu einem Anstieg der Gehalte an Zellwänden.

Wie aus Abbildung 6 entnommen werden kann, verändert sich mit steigender N-Versorgung auch die Zusammensetzung der Zellwände. Die Werte an Cellulose (inkl. Lignin) fallen deutlich ab, die Anteile an Hemicellulose sowie an Protopektin nehmen dagegen zu. Der Anteil an löslichem Pektin am Protopektin bleibt bis zu einer Stickstoffversorgung von 1,75 % N i. d. Trs. rel. konstant bei 42,5 %. Erst bei extrem hoher N-Versorgung steigt der rel. Anteil an löslichem Pektin auf über 45 % an.

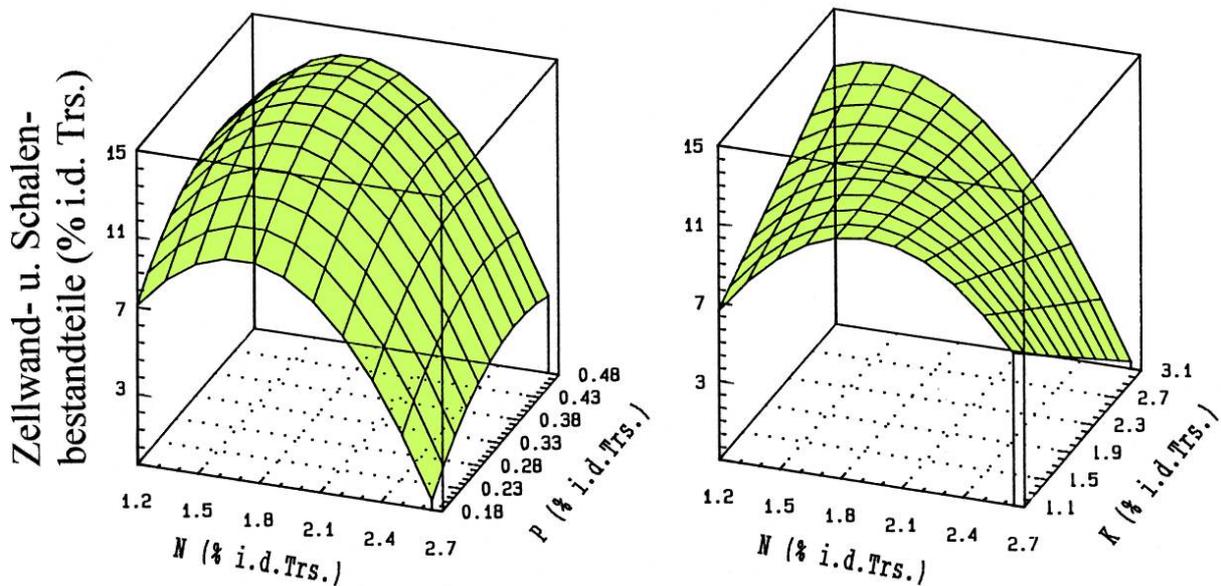


Abb. 5: Einfluss steigender NPK-Ernährung auf die Gehalte an Zellwand- und Schalenmaterial in Kartoffeln (Gefäßversuche)

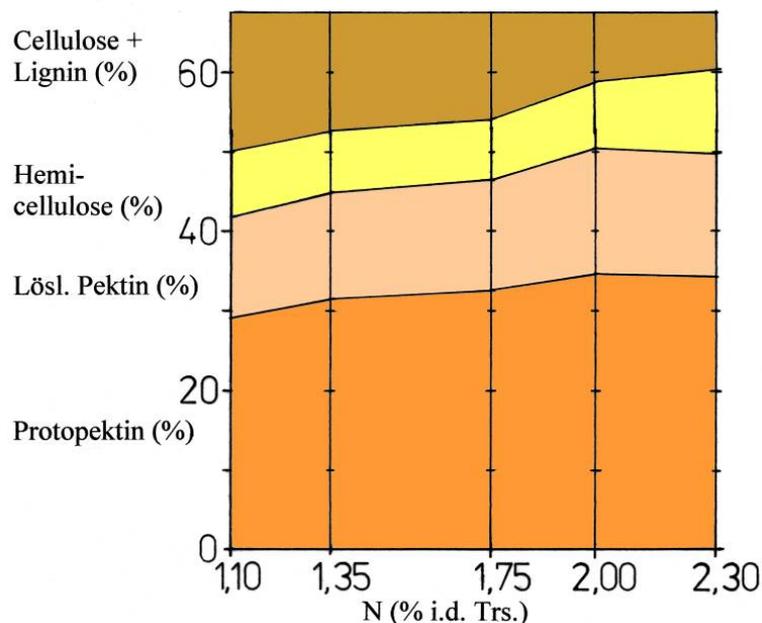


Abb. 6: Einfluss der N-Ernährung auf die Zusammensetzung der Zellwandverbindungen (= 100 %, Ausschnitt, Gefäßversuche nach SCHORLING, 1986)

Düngung mit Nährstoffen hat weiterhin zur Folge, dass im Allgemeinen auch die Konzentrationen der gedüngten Elemente im Zellmaterial ansteigen. Dies gelingt in bescheidenem Maße auch mit einer Mg- oder Ca-Düngung, so dass hierdurch der Zusammenhalt der Zellverbände etwas erhöht werden kann.

## 5. Einfluss der Lagerung

Die reguläre Erntereife des Knollenmaterials ist erreicht, wenn das Kraut abgestorben ist (trockene Stängel), die Stärkeeinlagerung und der Ertragszuwachs zum Erliegen gekommen sind und die Ausbildung der Schalenfestigkeit abgeschlossen ist. Wie die nachfolgenden Ausführungen allerdings zeigen, durchlaufen die Knollen in der anschließenden Zeitperiode zunächst noch eine rel. unruhige Nachreifephase mit hohen Schwankungen an niedermolekularen Substanzen. Es erfolgt die Umstellung des Stoffwechsels auf die Ruheperiode, die dann schließlich bis zur Keimung andauert. Während sich die chemische Zusammensetzung der Knollen inkl. der absoluten Gehalte an Zellwänden kaum noch verändern, vollziehen sich in einer Zeitperiode von 6 – 8 Wochen um den Zeitpunkt der Ernte Veränderungen in der Zusammensetzung der Zellwände, die scheinbar nur geringfügiger Natur sind (Abb. 7, Abb. 8).

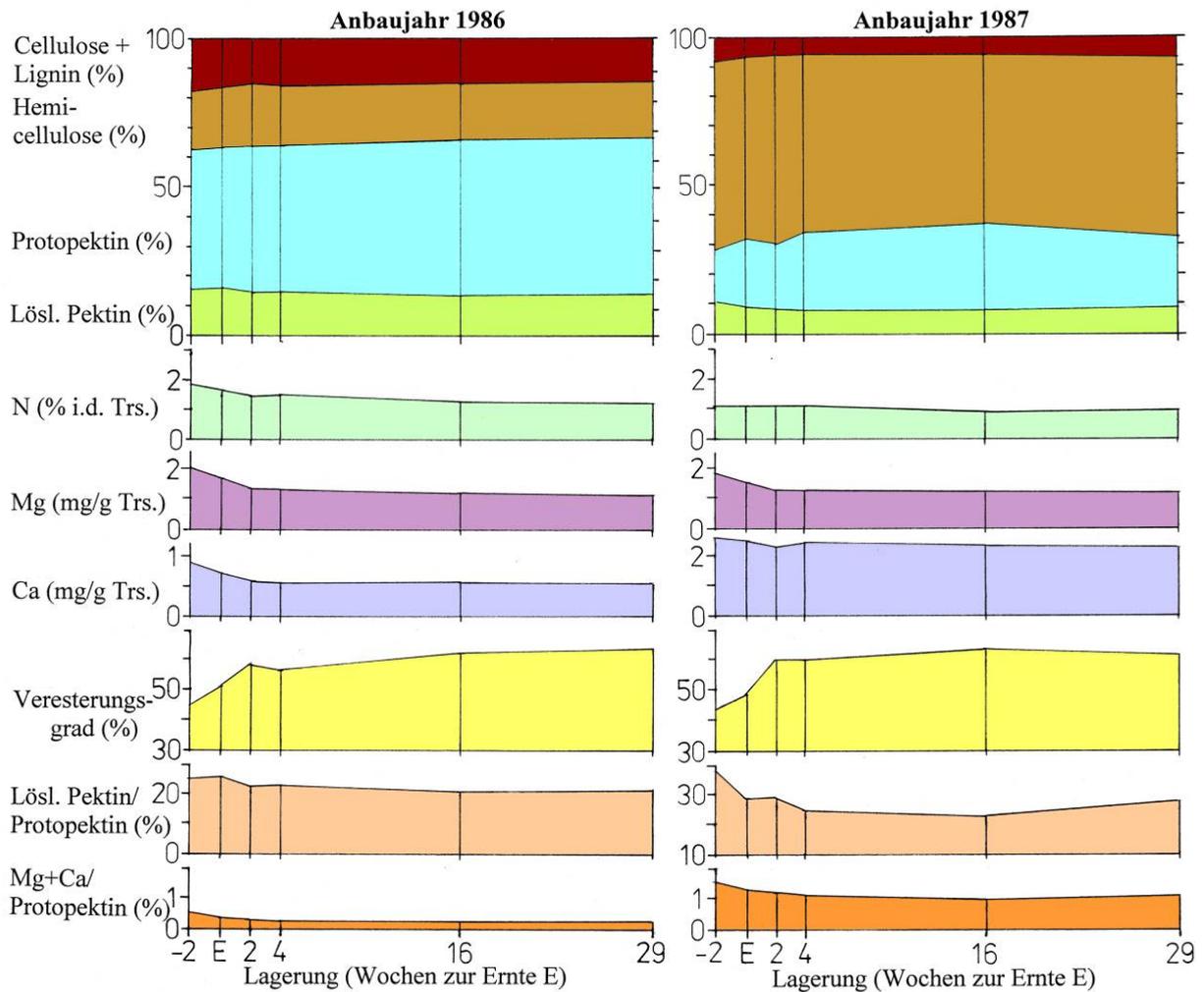
Die im Laufe der Vegetation beobachtete Zunahme des Anteils an löslichem Pektin in den Zellwänden findet ein Ende. Der Anteil dieser Fraktion nimmt wieder etwas ab, dagegen steigt der Anteil an Protopektin oft noch etwas an. Weiterhin ist in dieser Zeitspanne eine deutliche Abnahme der N-, Ca- und Mg-Gehalte der Zellwände zu erkennen. Auch die Werte der Mineralstoffe, ausgedrückt als rel. Anteile am Protopektin (= 100 %), werden geringer. Mit Abnahme der Fraktion des löslichen Pektins (deutlich zu erkennen wenn er als Relativanteil des Protopektins ausgedrückt wird) steigt gleichzeitig der Veresterungsgrad des Pektins jeweils stark an. Nach dieser Umstellungsphase sind dann bis gegen Ende der Langzeitlagerung kaum noch Änderungen zu erkennen.

Diese Umstellungsphase wird nicht durch die Ernte ausgelöst. Es handelt sich also um eine natürliche physiologische Erscheinung, die manchmal noch als „pseudoklimakterische Phase“ der Kartoffel beschrieben wird (in Anlehnung an die als Klimakterium bezeichnete Reifung von Früchten). Der Zeitpunkt maximaler Änderungen ist abhängig vom Anbaujahr bzw. der Witterung, vom Erntezeitpunkt sowie wahrscheinlich auch von der Sorte.

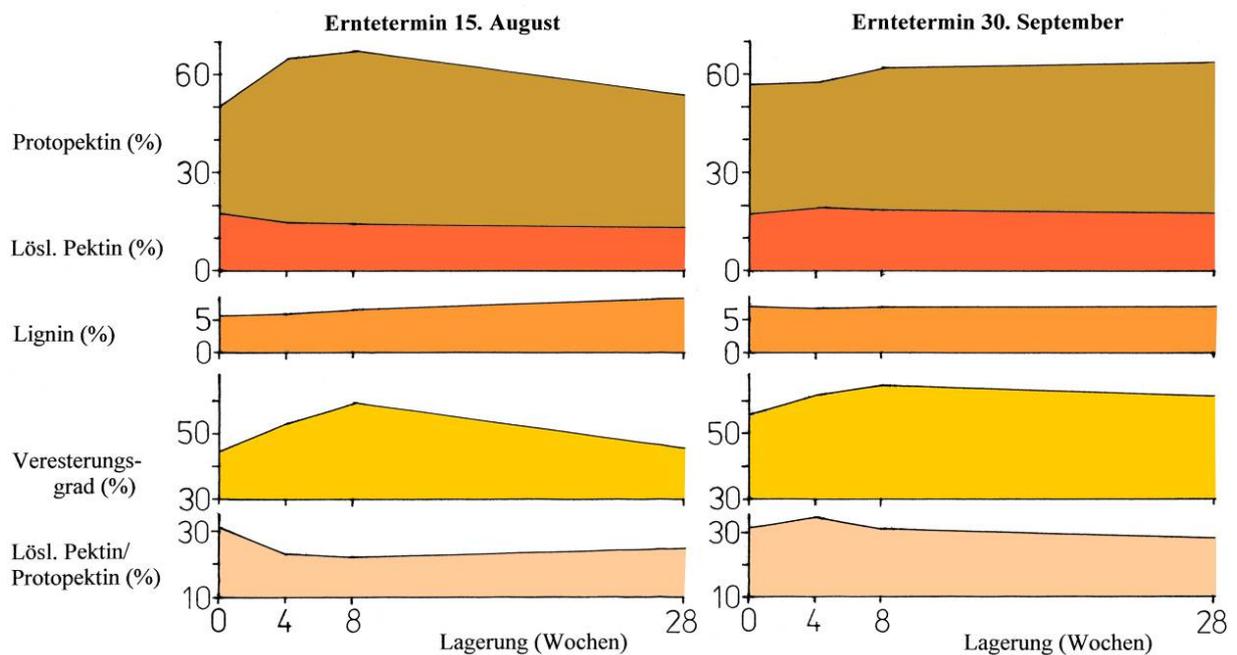
Wie aus Abbildung 7 zu ersehen ist, war im Jahr 1986 (rel. warm, geringe Niederschläge) der Zeitpunkt z.B. mit maximalen löslichen Pektinwerten genau z. Zt. der Ernte, im darauf folgenden Jahr 1987 (kühl, niederschlagsreich) wahrscheinlich bereits einige Zeit vor der Ernte. Zu achten ist auch auf die großen Unterschiede in den Werten an Protopektin und Hemicellulose zwischen diesen beiden Anbaujahren.

Werden Kartoffeln in deutlich unreifem Zustand geerntet (Abb. 8), so erfolgen sowohl in der Umstellungsphase als auch im späteren Verlauf der Langzeitlagerung erhebliche stoffliche Veränderungen im Bereich der Zellwände. Dies betrifft insbesondere die Gehalte an Protopektin sowie den Veresterungsgrad des Pektins. Es hat den Anschein, als ob die Knollen dann nur eine verkürzte Ruhephase durchleben, die Lagerungsstabilität ist geringer als bei ausgereiftem Knollenmaterial.

Nach Untersuchungen von ZGORSKA et al. (1985) und BRAUN (1989) zeigen auch Sorten ein unterschiedliches Verhalten. Besonders Sorte Bintje, aber auch Sorte Saturna, ist durch rel. geringe stoffliche Veränderungen in der Umstellungsphase gekennzeichnet. Die Sorte Mentor zeichnet sich dagegen durch deutliche Änderungen in der Zellwandzusammensetzung aus. So nehmen die Mineralstoffgehalte nicht nur in der Umstellungsphase ab und der Veresterungsgrad deutlich zu. Diese Veränderungen finden in abgeschwächter Form bis zum Ende der Langzeitlagerung statt. Somit bestehen nicht nur Unterschiede in der Höhe und Zusammensetzung der Zellwandverbindungen zwischen den Sorten sondern auch in der zeitlichen Veränderung der Zusammensetzung im Verlauf der Langzeitlagerung.



**Abb. 7: Veränderung der Zusammensetzung der Zellwandverbindungen (= 100 %) im Verlauf von Erntereife und Lagerung (nach BRAUN, 1989)**



**Abb. 8: Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Veränderung der Zellwandzusammensetzung (= 100 %) im Verlauf einer Langzeitlagerung (nach ZGORSKA, 1987)**

## 6. Schlussfolgerungen

In diesem Artikel sind Auswirkungen wichtiger Einflussgrößen auf den Gehalt und die Zusammensetzung an Zellwandbestandteilen von Kartoffelknollen beschrieben worden. Es sind große Veränderungen im Verlauf der Vegetation zu registrieren. Weiterhin haben Temperatur und Niederschlag eine deutliche Wirkung.

Von den üblichen Düngungsmaßnahmen können die Zellwandbestandteile vorwiegend auch durch die Stickstoff-, etwas durch Phosphor und Kalium-Düngung beeinflusst werden. Hierbei ist vor allen Dingen eine optimale N-Düngung von Vorteil. Eine überhöhte N- und K-Versorgung ist demgegenüber zu vermeiden, da hierdurch rel. geringe Cellulose- und erhöhte (lösliche) Pektinwerte in den Knollen auftreten können. Bei küchentechnischer Aufbereitung trägt beides zu einer Erhöhung des Zerkochungsgrades bei. Während eine P-Düngung zu einer Stabilisierung der Cellulosegehalte und zu einer Erhöhung der Protopektinwerte beiträgt, was dem Zerkochen jeweils etwas entgegenwirkt.

Hohe N- und K-Versorgung führt (auch über eine Reifeverzögerung) zu einer Verringerung der Schalendicke und der Schalenfestigkeit. Hohe P-Versorgung fördert dagegen die Ausreife und Schalenfestigkeit. Auch die Art der Krautabtötung hat Einfluss. Nur mit einer gründlich durchgeführten Krautabtötung oder Krautbeseitigung ist die Gewähr verbunden, dass die Schalenfestigkeit rasch und vollständig ausgebildet wird. Bei Sorten, die leicht zum Zerkochen neigen, kann der gewöhnliche Erntetermin (gut abgestorbenes Kraut) auch etwas vorverlegt werden, denn es hat sich gezeigt, dass die Knollen dieser Sorten sonst bereits „überreif“ geerntet werden. Sie zeigen dann eine stärkere Neigung zum Zerkochen. Das Knollenfleisch hat eine zu weiche Konsistenz und eine zu grobe Struktur als bei vorverlegtem Erntetermin. Ein gezielter Zusatz (z. B. von Ca-Salzen) zum Kochwasser kann in diesen Fällen ebenfalls Abhilfe schaffen. Auch die Regulierung des Säuregrades, der Einsatz von bestimmten Enzymen sowie eine Vorerhitzung von Kartoffeln können dazu beitragen, dass die Kohäsion des Zellverbandes beim Kochen ebenso erhöht wird.

Die geschilderten Veränderungen in der Zusammensetzung der Zellwände im Bereich der physiologischen Ausreife und Nachreife von Kartoffeln werden von deutlichen Auswirkungen auf die Qualität besonders von Verarbeitungsprodukten begleitet, die in dieser Zeit hergestellt werden. So kann die Wasseraufnahme und Konsistenz von Püree sowie der Zerkochungsgrad von Trockenkartoffeln und anderen Verarbeitungsprodukten hohen Schwankungen unterworfen sein. Vor und nach dieser Periode sind Produkte durchschnittlicher Qualität zu erreichen. In diesen Fällen muss der Herstellungsprozess jeweils entsprechend der gewünschten Qualität angepasst werden oder die Verarbeitung sollte in dieser sensiblen Phase besser unterbleiben, bis die Knollen physiologisch ruhig geworden sind und die Qualität der daraus hergestellten Verarbeitungsware sicherer eingeschätzt werden kann.