

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. Jürgen Fischer, Umweltbundesamt, Dessau

Prof. Dr. Ilona Rogozinska, Universität Bydgoszcz, Polen

E-Mail: hartmut.kolbe@smul.sachsen.de

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

Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel

V. Rohfett und Fettsäurezusammensetzung

1. Zusammensetzung, Funktion und Bedeutung der Lipide in Kartoffeln

Kartoffeln weisen mit 0,1 - 0,2 % i. d. Frischsubstanz nur relativ geringe Gehalte an Gesamtlipiden bzw. an Rohfett auf. Die höchsten Werte werden in der Region zwischen der Schale und dem Gefäßbündelring gefunden. Geschälte Kartoffeln, besonders bei großzügigem Schälen, weisen daher noch niedrigere Gehalte auf.

Die Bestimmung von Rohfett erfolgt in einer sog. Soxhlett-Apparatur durch Extraktion mit Lösungsmitteln (z.B. Petroläther). Eine quantitative Analyse der Fettfraktionen und der Fettsäureverteilung kann mit Hilfe der Gaschromatographie oder mittels Hochdruckflüssigkeits-Chromatographie (HPLC) vorgenommen werden.

Die Bausteine der Fette sind die Fettsäuren von denen bisher über 45 verschiedene in Kartoffeln gefunden worden sind. Je nach ihrer Funktion in der Pflanze sind die Fettsäuren mit weiteren chemischen Komponenten verbunden. So besteht das Rohfett von Kartoffelknollen durchschnittlich aus:

47 %	Phospholipide	(Glycerin + Fettsäuren + Phosphat)
22 %	Glyco- u. Galactolipide	(Glycerin + Fettsäuren + Saccharid)
21 %	Neutralfette	(Glycerin + Fettsäuren)
9 %	Sterole	(Zucker + Styrolgerüst)
1 %	Wachse, Carotinoide	(= Vitamine, Farbstoffe).

Hieraus geht hervor, dass Kartoffelknollen nur relativ geringe Anteile an Neutralfetten aufweisen, die das Speicherfett der Fettpflanzen darstellen. Vielmehr handelt es sich vornehmlich um Membranlipide, die in den Zellen wichtige physiologische Regulierungs- und Abgrenzungs-Funktionen erfüllen (Abb. 1).

Die wichtigsten 6 Fettsäuren in Kartoffeln sind in Abbildung 2 näher beschrieben. Zusammen umfassen diese über 95 % der Gesamtfettsäuren. Aus der Fettsäure-Zusammensetzung wird ersichtlich, dass die Anteile an ungesättigten Fettsäuren (1 - 3 Doppelbindungen) in Kartoffeln vergleichsweise hoch sind. Linol- und Linolensäure sind zudem für die menschliche Ernährung essentiell (Vitamin F, Omega-6- u. Omega-3-Fettsäuren), da sie der Organismus nicht selbst bilden kann. Das Fett der Kartoffeln hat daher einen relativ hohen ernährungsphysiologischen Wert (hohe Gehalte an Phospholipiden zu denen z.B. auch Lecithin gehört). Aufgrund der niedrigen Fettgehalte trägt es jedoch kaum zur Deckung des Tagesbedarfs bei.

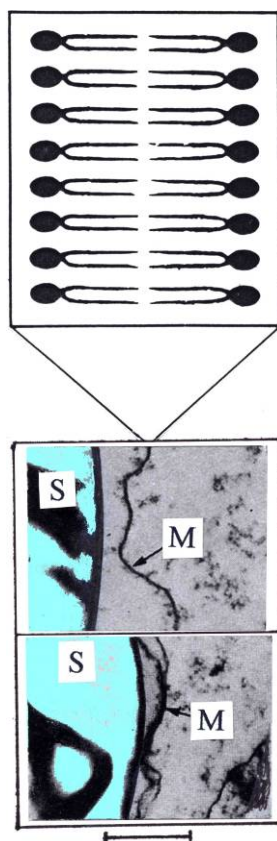


Abb. 1: Elektronenmikroskopische Aufnahmen (Maßstab entspricht 2 µm) einer funktionsfähigen Bio-Membran (M) der Stärkekörner (S) in den Zellen von Kartoffelknollen (Mitte), eine gelterte Membran nach längerer Lagerung (unten) (nach SOWOKINOS et al., 1987), sowie symbolischer Aufbau der Membran als Lipiddoppelschicht (oben): runde Elemente = Phosphate (hydrophil); "Schwänze" = Fettsäuren (hydrophob)

Name	C-Atome	Doppelbindungen	Schmelzpunkt (°C)	Gehalt (Gesamtfett = 100 %)	Strukturformel
Myristinsäure	14	0	54	≤ 1	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}_{12}\text{H}_{25}-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$
Palmitinsäure	16	0	63	20	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}_{14}\text{H}_{29}-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$
Stearinsäure	18	0	70	5	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}_{16}\text{H}_{33}-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$
Ölsäure	18	1	13,5	5	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}_7\text{H}_{15}-\text{C}=\text{C}-\text{C}_9\text{H}_{19}-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$
Linolsäure	18	2	-5	51	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}_5\text{H}_{11}-\text{C}=\text{C}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{C}=\text{C}-\text{C}_7\text{H}_{13}-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$
Linolensäure	18	3	-11	18	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}_2\text{H}_3-\text{C}=\text{C}-\text{C}_2\text{H}_3-\text{C}=\text{C}-\text{C}_2\text{H}_3-\text{C}=\text{C}-\text{C}_5\text{H}_{11}-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$

Abb. 2: Wichtige Fettsäuren in Kartoffelknollen (C = Kohlenstoff, H = Wasserstoff, O = Sauerstoff)

Dafür ist die geringe Energiezufuhr vorteilhaft zu beurteilen. Kartoffeln sind daher keine "Dickmacher", es sei denn, sie werden in höheren Mengen z.B. mit fettreichen Soßen oder als Brat- und Fritierprodukte verzehrt. Kartoffelspeisen können dann auch sehr hohe Fett- und Kaloriengehalte aufweisen, wie aus Tabelle 1 hervorgeht.

Tab. 1: Einfluss der Zubereitung auf die Fett- und Kaloriengehalte von Kartoffelspeisen

Zubereitungsart	Rohfett (% i.d. Frs.)	Kalorien (kcal/100 g)
Frisch- u. Salzkartoffeln geschält	0,11	70 – 90
Kartoffelsalat	5,5 – 8,0	150 – 200
Bratkartoffeln	7,5 – 15	185 – 300
Pommes frites	12 – 30	270 – 400
Chips	35 – 42	500 – 600

Die hohen Anteile an ungesättigten Fettsäuren der Kartoffel haben aber auch einen Nachteil, der sowohl bei der Verarbeitung als auch nach längerer Lagerung von Trocken- und Röstprodukten (Trockenkartoffeln, Flocken, Chips) zum Tragen kommt: ein unerwünschter Fettabbau und Fettverderb. So kann es z.B. bereits zu Beginn der Verarbeitung (Schneiden von Kartoffelscheiben und -streifen) innerhalb kurzer Zeit zu einer z. T. deutlichen Zunahme an mehrfach ungesättigten Fettsäuren kommen (Abb. 3), die wiederum als Ausgangssubstanzen für den weiteren Fettabbau angesehen werden können.

Die hieran beteiligten Prozesse können auf enzymatische, chemische oder auch auf mikrobielle Ursachen zurückgeführt werden. In der Regel wird daher bei der Verarbeitung von Kartoffeln zu Nass- oder Trockenprodukten eine weitgehende Inaktivierung des enzymatischen Fettabbaus z.B. durch Erhitzen (Blanchierbad, Wasserdampf) erzielt.

Je nach Art und Dauer der Lagerung unterliegen die freien Fettsäuren, insbesondere Linol- und Linsäure, außerdem einer sog. nicht-enzymatischen Fettsäurespaltung (Autoxidation), die eine dominierende Rolle beim Fettverderb zukommt. Zutritt von Sauerstoff, Lichteinstrahlung, Wärme oder Metalloberflächen beschleunigen diesen Prozess, der schließlich zur Verranzung führt.

Die flüchtigen Spaltprodukte tragen zu einem gewissen Teil positiv zum Gesamtaroma von Kartoffelerzeugnissen bei. Dagegen sind einige dieser Stoffe (z.B. Hexanal) in höheren Konzentrationen besonders für ihre negative Aromaqualität bekannt. Es entstehen die sog. Peroxide, später auch flüchtige Aldehyde und Ketone, die einen charakteristischen seifigen und ranzigen Geruchseindruck hervorrufen.

Zwar enthält das Kartoffelgewebe auch natürliche Antioxidantien, die diesen fettabbauenden Prozessen entgegenwirken. Hierzu gehören z.B. Vitamin E (Tocopherol) und Vitamin C (Ascorbinsäure). Diese Verbindungen stellen jedoch keinen dauerhaften Schutz vor der Autoxidation insbesondere von Trockenprodukten dar, so dass in bestimmten Grenzen eine Zugabe von Antioxidantien zu Verarbeitungsprodukten erfolgt, damit die Lagerfähigkeit gewährleistet werden kann.

2. Entwicklung im Verlauf der Vegetation

Im Spektrum der Gesamtlipide sind besonders Membranlipide, sowie auch Eiweiß, Zucker und Mineralstoffe, sowohl für die Zellteilung und -differenzierung als auch für eine optimale Zellfunktion z.B. bei der Stärkeeinlagerung wichtig. Deshalb werden rel. hohe Gehalte an Rohfett in ganz jungen Knollen vorgefunden (Abb. 4). Bis ca. 60 Tage nach Aufgang kann dann ein Kartoffelbestand von 1 ha ungefähr 2 kg Rohfett je Tag einlagern. Danach nimmt die Intensität der Fettbildung stetig ab.

Wie weiterhin zu sehen ist, nehmen im Verlauf der Vegetation die Gehalte an Rohfett reziprok zu den Knollenerträgen ab. Obwohl die Fettgehalte hierdurch auf ein Drittel der ursprünglichen Werte reduziert werden, nimmt die gebildete Fettmenge bis ca. 105 Tage nach dem Aufgang stetig zu und er-

reicht dann maximale Werte von 75 kg Fett/ha. Danach nimmt die eingelagerte Fettmenge parallel zu den Erträgen bis zur Ernte wieder leicht ab (Abb. 4).

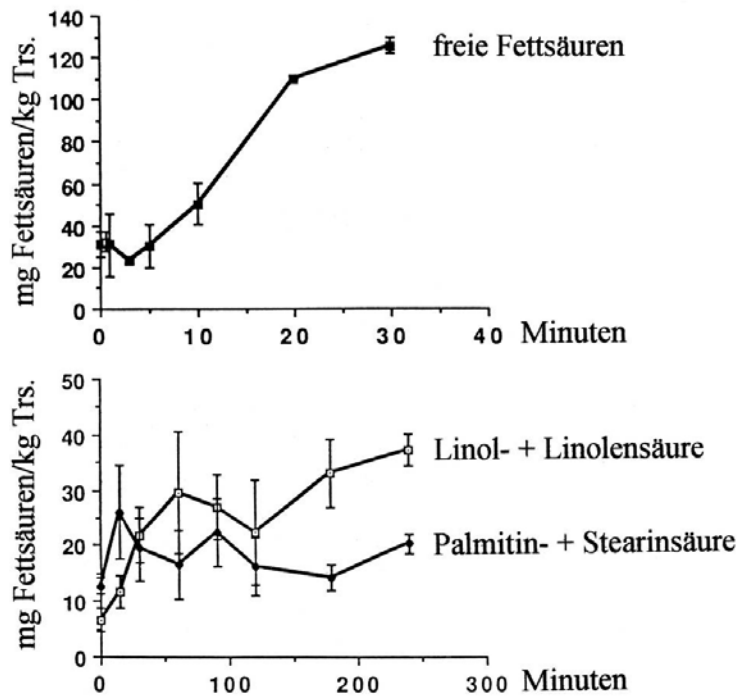


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Freisetzung von Fettsäuren auf Kartoffelstreifen (oben) sowie auf Kartoffelscheiben (unten) nach dem Schneidvorgang (nach HALLBERG, 1989)

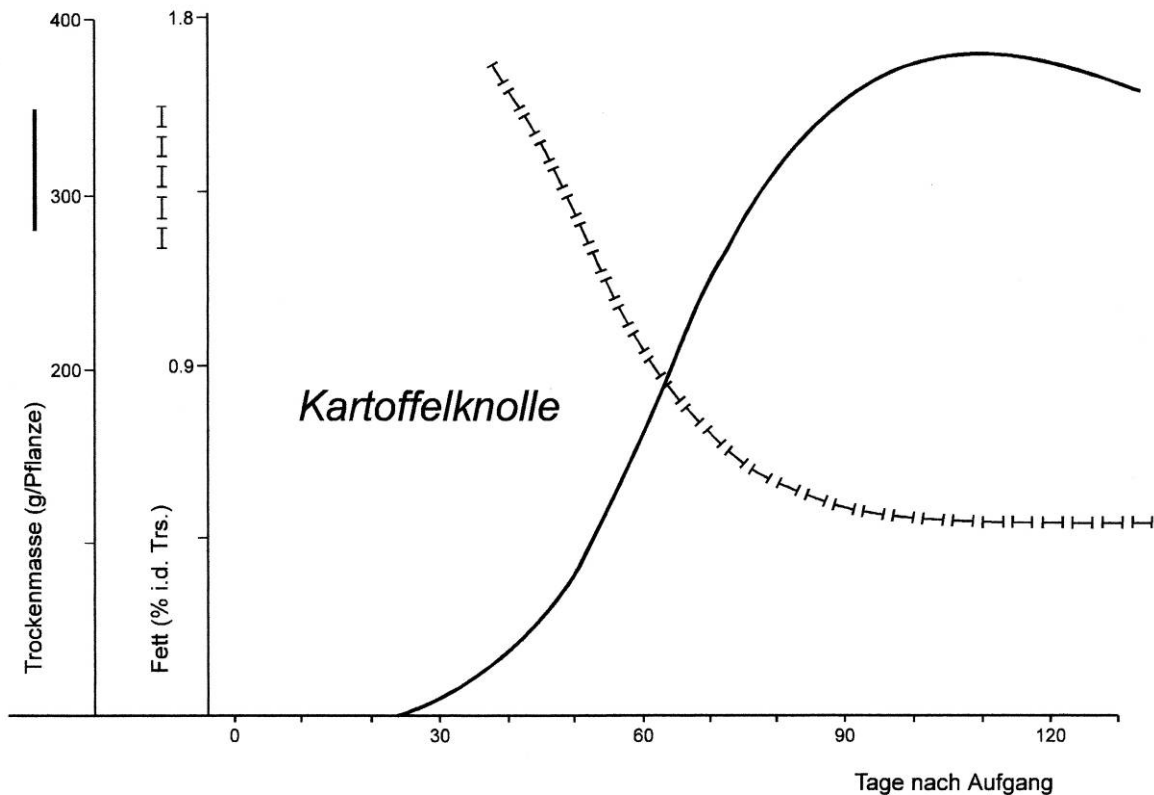


Abb. 4: Entwicklung der Fettgehalte im Vergleich zu den Knollenerträgen im Verlauf der Vegetation

3. Einfluss der Sorte

Da die Rohfettgehalte der Kartoffelknollen im Verlauf der Vegetation einer erheblichen Abnahme unterliegen ist es verständlich, dass sehr früh und unreif geerntete Kartoffeln sich durch erhöhte Fettgehalte auszeichnen. Dies trifft auch für Frühkartoffeln zu (Abb. 5). Je länger die Vegetationszeit einer Kartoffelsorte dauert, umso höher sind die durchschnittlichen Stärkegehalte und umso geringer die Gehalte an Rohfett.

Sortenunterschiede lassen sich auch im Hinblick auf die prozentualen Anteile einzelner Fettsäuren in der Fettfraktion von Speisekartoffeln erkennen (Abb. 5). Die sehr frühen und frühen Sorten Berber und Cilena mit Gehalten von ca. 70 % an ungesättigten Fettsäuren (Öl-, Linol- und Linolensäure) unterscheiden sich von den Sorten der mittel-frühen Reifegruppe (Solara, Hansa, Granola), die lediglich 60 % an ungesättigten Fettsäuren im Spektrum der Gesamtfettsäuren aufweisen.

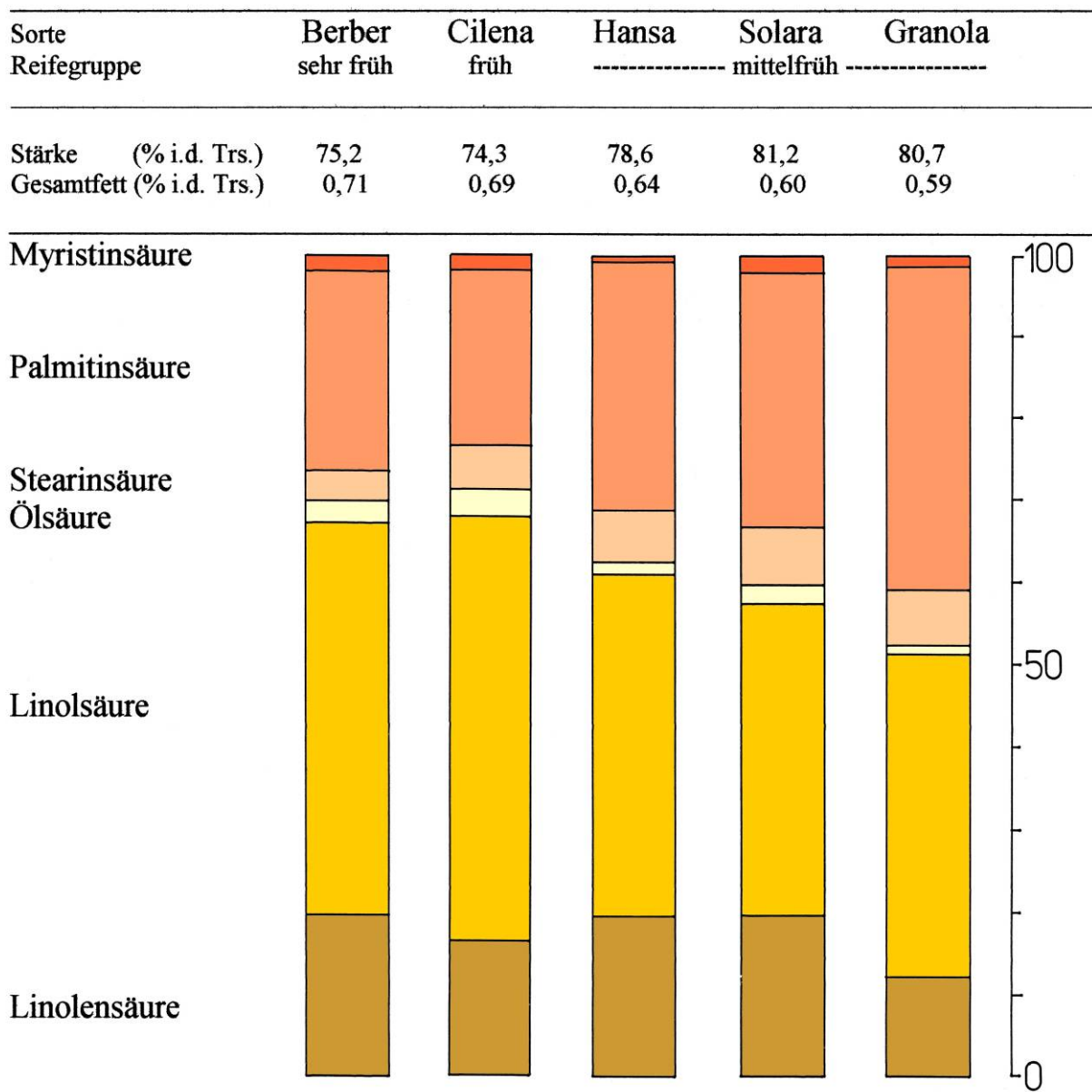


Abb. 5: Gehalte an Stärke, Rohfett und Zusammensetzung der Fettsäuren von Kartoffelsorten verschiedener Reifegruppen

4. Einfluss des Wetters

Auf die Fettbildung wirkt sich bekanntlich eine hohe Energiezufuhr günstig aus. Es wird sogar berichtet, dass mit steigender Sonnenscheindauer gleichzeitig sowohl höhere Gehalte an Rohfett als auch an Stärke und höhere Knollenerträge erzielt werden. Daher können die geernteten Fettmengen mit steigender Sonnenscheindauer erheblich zunehmen, wie das von fettliefernden Pflanzenarten bekannt ist. Für Kartoffeln trifft das zwar auch zu, doch wegen der niedrigen Fettgehalte und geringen geernteten Fettmengen ist das nur von untergeordneter Bedeutung.

Auch durch unterschiedliche Temperaturen werden die Rohfettgehalte beeinflusst. Die Ursachen hierfür liegen in einem Konzentrationseffekt, der von einer entsprechend veränderten Vegetationszeit und Speicherung an Stärke hervorgerufen wird. So erfolgt z.B. bei einem Anstieg der Tagesdurchschnittstemperaturen um 1 °C (Monate Mai - August) eine Verkürzung der Vegetationsdauer um ca. 1 Woche. Gleichzeitig wirken sich hohe Temperaturen negativ auf die Gehalte an Stärke und die Knollenerträge aus. Infolge steigender Temperaturen kommt es daher in den meisten Fällen zu einer geringen Zunahme der Rohfettwerte in den geernteten Kartoffelknollen.

Wesentlich bedeutender ist aber der Einfluss der Umgebungs-Temperatur auf die Zusammensetzung der Fettsäuren (Abb. 6). Mit steigender Temperatur nehmen die relativen Anteile der gesättigten Fettsäuren Stearin- und Palmitinsäure zu, während die mehrfach ungesättigten Fettsäuren Linol- und Linolensäure im Spektrum der Gesamtfettsäuren abnehmen. Diese charakteristischen Veränderungen sind bei allen lebenden Organismen anzutreffen. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um physiologische Anpassungsreaktionen, damit bei unterschiedlichen Umweltbedingungen über eine weitgehend gleich bleibende Konsistenz des Zellgewebes immer eine optimale Funktionsfähigkeit und Durchlässigkeit der lebenswichtigen Bio-Membranen gewährleistet werden kann.

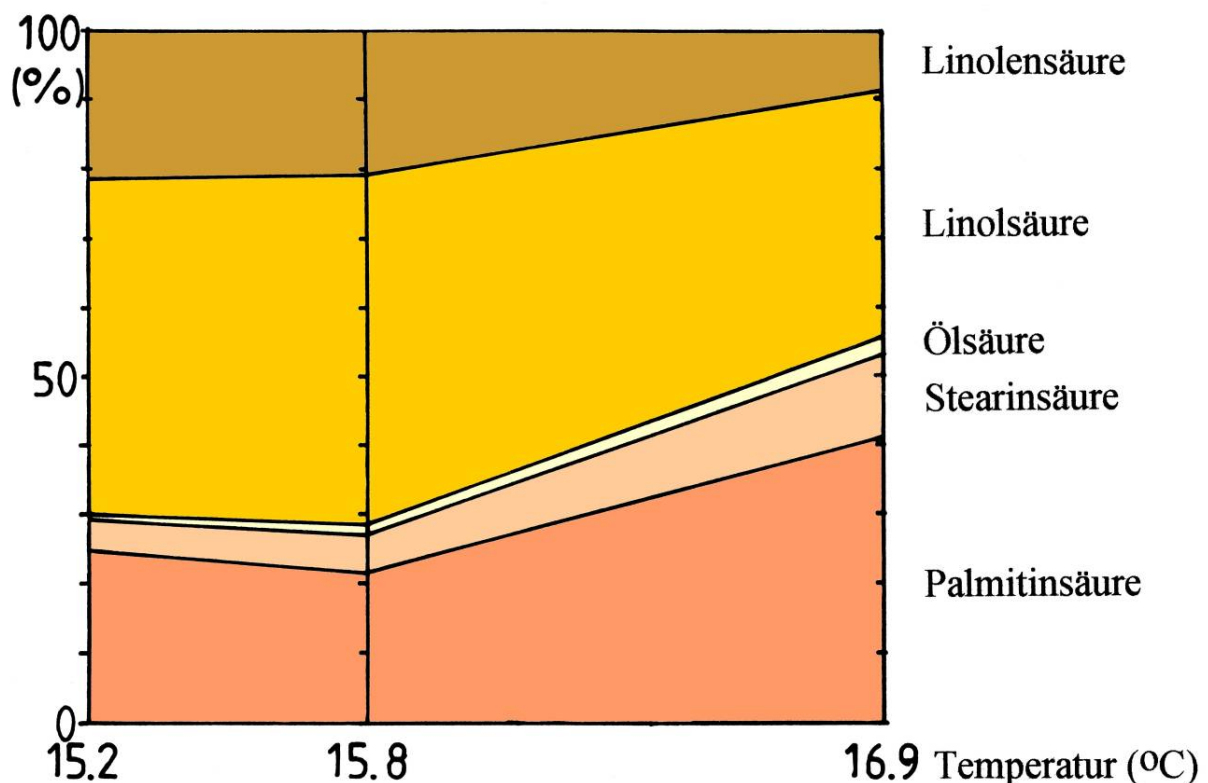


Abb. 6: Einfluss der Temperatur auf die Zusammensetzung der Fettsäuren von Kartoffelknollen (nach Daten von WARMBIER, 1975, u. SCHIEMICHEN, 1977)

5. Einfluss der Nährstoffversorgung

Der Zusammenhang zwischen einer steigenden Düngung bzw. Nährstoffversorgung der Kulturen und den Gehalten an Rohfett ist ebenfalls weitgehend von indirekter Natur. Es handelt sich im Wesentlichen um Konzentrationseffekte, die durch deutliche Verschiebungen in den Gehalten an anderen Inhaltsstoffen verursacht werden (Abb. 7). Diese Ergebnisse stammen aus Gefäßversuchen, daher sind die Werte an Rohfett etwas unüblich hoch. Es ist deutlich zu sehen, dass es immer dann zu erhöhten Fettwerten kommt, wenn es infolge entsprechender Nährstoffversorgung entweder zu niedrigen Erträgen (extrem niedrige und hohe N-Versorgung) oder zu niedrigen Gehalten an Trockensubstanz und Stärke (hohe K-Versorgung) in den Knollen kommt. Lediglich nach steigender P-Versorgung nehmen die Fettwerte zu, obwohl gleichzeitig noch etwas ansteigende Erträge und Gehalte an Stärke zu verzeichnen sind.

Höhere Rohfettwerte treten also gewöhnlich nur unter rel. extremen Ernährungsbedingungen auf. Im Nährstoff-Versorgungsbereich der landwirtschaftlichen Praxis kommt es daher weder zu deutlichen Veränderungen in den Rohfettgehalten noch in der Zusammensetzung der Fettsäuren der Knollen infolge eines steigenden Düngemiteleinsatzes. Dies kann auch durch Ergebnisse aus Feldversuchen bestätigt werden.

6. Einfluss der Lagerung

Die Gehalte an Rohfett verändern sich im Verlauf der Lagerung zunächst nur unwesentlich. Wird jedoch bei ungünstigen Lagerungsbedingungen (sowie im Verlauf der Auskeimung im Feld) ein hoher Anteil an Stärke veratmet, so steigen dann die Fettwerte entsprechend dem Konzentrationseffekt an.

Im Verlauf einer Langzeitlagerung ist in einem rel. weiten Temperaturbereich (5 - 20 °C) kaum mit einer Veränderung der Zusammensetzung der Fettsäuren zu rechnen (Abb. 8). Im Verlauf der Zeit kommt es lediglich zu einer langsamen Zunahme der mehrfach ungesättigten Linolensäure, Linol- und Ölsäure nehmen dagegen etwas ab. Diese Ergebnisse deuten in Richtung einer allgemein eintretenden langsamen Alterung der Knollen.

Erst bei einer Lagerungstemperatur von deutlich unter 4 °C kommt es nach anderen Untersuchungen zu der bekannten Zunahme an ungesättigten Fettsäuren. Auch bei Lagerung in extrem hoher Temperatur von 30 °C wird das Spektrum der Fettsäuren verändert, indem die Anteile an Ölsäure zunehmen während die Anteile an Linolensäure anscheinend abfallen können.

Nach längerer Lagerung treten dann irreversible Veränderungen sowohl der physikalischen als auch der physiologischen Funktionen der fetthaltigen Bestandteile der Knollen auf. Dies kann auch an einer Separierung und teilweisen Auflösung der Lipid-Doppelschicht der Bio-Membranen in den Zellen von Kartoffelknollen erkannt werden (siehe Abb. 1). So ist die Entstehung von Alterszucker infolge längerer Lagerung wahrscheinlich auch ein Anzeichen dafür, dass die Bio-Membranen um die Stärkekörner in den Knollen in ihrer ursprünglichen Funktion bereits beeinträchtigt worden sind.

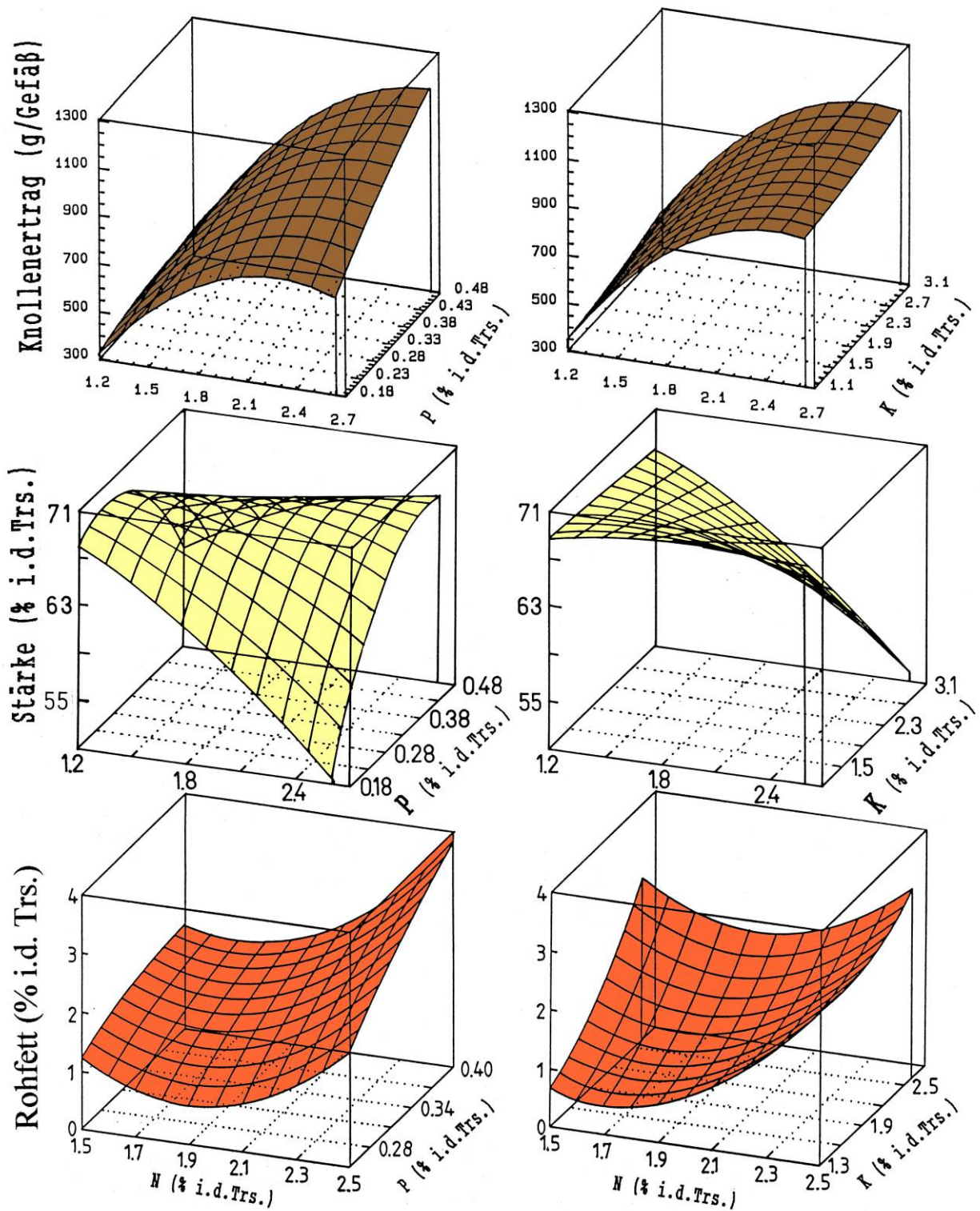


Abb. 7: Einfluss steigender NPK-Versorgung der Kartoffelknollen auf die Rohfettgehalte im Vergleich zu den Gehalten an Stärke und den Knollenerträgen (Ergebnisse aus Gefäßversuchen, praxisrelevante Bereiche in der Versorgung mit Stickstoff = 1,3 - 2,0 % N, Phosphor = 0,2 - 0,4 % P, Kalium = 1,5 - 2,8 % K)

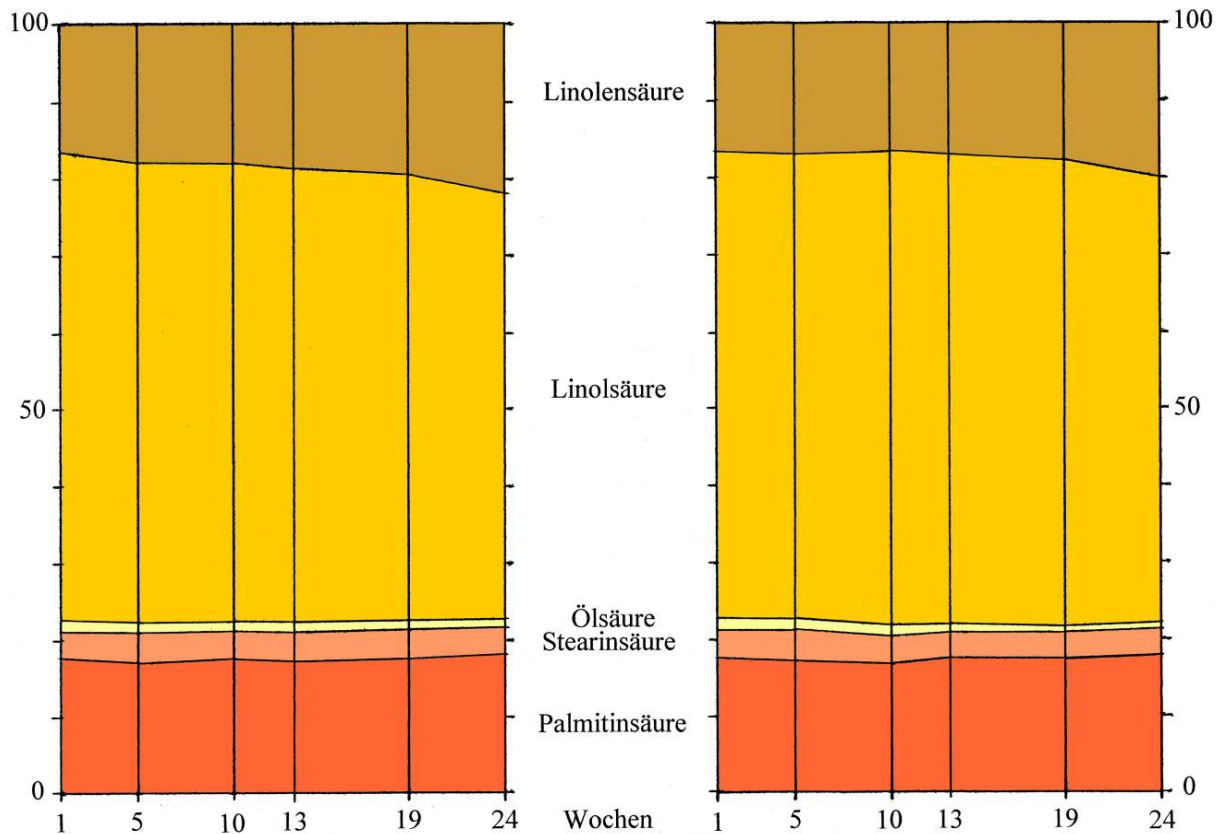


Abb. 8: Veränderung der Fettsäurezusammensetzung von Kartoffeln durch Langzeitlagerung bei 5 °C (links) und 20 °C (rechts) (nach GALLIARD et al., 1975)

7. Schlussfolgerungen

In diesem Artikel sind Einflussfaktoren beschrieben worden, die die Gehalte und die Zusammensetzung an Rohfett von Kartoffelknollen bestimmen. Es ist vor allen Dingen die Vegetationsperiode bzw. die Vegetationszeit, die die Rohfettgehalte beeinflusst. Daher haben früh abreifende Kartoffelsorten in der Regel höhere Fettgehalte als später abreifende Sorten. Dies hat Auswirkungen insbesondere dann, wenn aus diesen Kartoffeln Verarbeitungsprodukte (Trocken- und Röstprodukte) hergestellt werden. Entsprechende Verarbeitungsware aus Frühkartoffeln erweist sich oft als nachteilig, da höhere Fettwerte zur Verranzung neigen, was diese Produkte daher nur begrenzt lagerungsfähig macht.

Ein weiterer Einflussfaktor liegt in einer unterschiedlichen Witterung begründet. Hierbei werden die Gehalte an Rohfett in der Weise beeinflusst, dass sowohl steigende Temperaturen als auch eine steigende Sonnenscheindauer zu etwas höheren Rohfettwerten führen können. Unterschiedliche Temperaturen haben zudem einen deutlichen Einfluss auf die Fettsäurezusammensetzung der Knollen. Diese Temperatureinflüsse sind im Verlauf der Lagerung allerdings nur bei sehr tiefen Lagerungstemperaturen von Bedeutung.

Eine unterschiedliche Düngung hat unter praktischen Verhältnissen ebenfalls keine deutliche Wirkung auf die Fettgehalte und deren Zusammensetzung. Lediglich nach extrem hoher N-Düngung können die Rohfettwerte (ähnlich den in Abb. 7 dargelegten Zusammenhängen) etwas ansteigen. Gleichzeitig wird dann von einer relativen Zunahme von mehrfach ungesättigten Fettsäuren berichtet, die möglicherweise sowohl zu einer Zunahme der Verranzung führen als auch das Aroma der Kartoffeln negativ beeinflussen können.

Für den Grad des unerwünschten Fettabbaus in Kartoffelerzeugnissen erscheint allerdings der Fettgehalt oder die Fettsäureverteilung nicht allein ausschlaggebend zu sein, sondern auch die allgemein sehr hohe Aktivität der fettabbauenden Enzyme des Kartoffelgewebes. Daher muss zunächst ganz allgemein auf eine schonende Behandlung der Rohware hinsichtlich Erntetechnik, Transport und Lagerung geachtet werden. Weiterhin ist im Verlauf des Verarbeitungsprozesses eine sorgfältige Durch-

führung des Blanchierens (in Temperaturhöhe und Dauer) zur möglichst vollständigen Inaktivierung der fettabbauenden Enzyme von Bedeutung. Entsprechend hohe Anforderungen (Lichtabschluss, Sauerstoffausschluss, tiefe Temperaturen) werden außerdem an die gelagerten Verarbeitungsprodukte insbesondere mit erhöhtem Fettgehalt (Chips, Pommes frites) gestellt.