



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Die Kartoffel *Solanum tuberosum* (*Solanaceae*)
in der Humanernährung“

verfasst von / submitted by

Christina Bauer

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 456 477

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UniStG
UF Geographie und Wirtschaftskunde UniStG
UF Haushaltsökonomie und Ernährung UniStG

Betreut von / Supervisor:

Prof. Mag. Dr. Susanne Till

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, am 10.6.2018

Christina Bauer

Vorwort und Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei Prof. Mag. Dr. Susanne Till für die Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken. Schon zu Beginn meines Studiums wurde durch Sie mein Interesse an Pflanzen und ihrer Rolle in unserer Ernährung geweckt. Das hat mich schließlich bis zu meiner Diplomarbeit und dem Abschluss meines Studiums begleitet.

Meinen Eltern gilt ein besonderer Dank, für die mentale als auch finanzielle Unterstützung. Danke, dass ihr mir dieses Studium ermöglicht habt. Danke auch an meine Geschwister!

Besonders bedanken möchte ich mich bei meiner besten Freundin Tanja. Danke, dass du immer ein offenes Ohr hast für meine Anliegen und mich jederzeit mit Ratschlägen und aufmunternden Worten unterstützt. Ein großes Dankeschön geht auch an meine Studienkollegin und gute Freundin Tina, die mich vom ersten Tag an durchs Studium begleitet hat.

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis	VII
II	Abbildungsverzeichnis	IX
III	Tabellenverzeichnis	XI
IV	Abkürzungsverzeichnis	XII
1	Einleitung	1
2	Kulturgeschichte der Kartoffel	2
2.1	Die Urheimat der Kartoffel	2
2.2	Der Weg nach Europa	5
2.3	Verbreitung der Kartoffel in Europa	6
2.4	Gegenwärtige Bedeutung der Kartoffel	10
3	Solanum tuberosum	12
3.1	Systematik und Klassifikation	12
3.2	Sortengruppen	14
3.3	Abstammung und Domestizierung	15
3.4	Morphologische Charakteristika	18
3.4.1	Stängel und Blätter	18
3.4.3	Knollen	19
3.4.4	Wurzeln	22
3.5	Botanische Entwicklungsstadien	23
3.5.1	Keimung, Entwicklung und Ausbildung der Wurzeln	24
3.5.2	Knollenanlage und Ertragsbildung	24
3.5.3	Absterben der Pflanze	25
4	Ernährungsphysiologische Bedeutung von ausgewählten Inhaltsstoffen	26
4.1	Zusammensetzung der Kartoffel	26
4.1.1	Energie- und Nährstoffgehalt	26
4.1.2	Kohlenhydrate	28
4.1.2.1	Stärke	28
4.1.3	Protein	33
4.1.4	Vitamine und Mineralstoffe	35
4.1.4.1	Vitamin C (Ascorbinsäure)	35
4.1.4.2	Vitamin B ₁ (Thiamin)	37
4.1.4.3	Niacin	38
4.1.4.4	Vitamin B ₆ (Pyridoxin)	40
4.1.4.5	Kalium	41
4.1.5	Sekundäre Pflanzenstoffe	44
4.1.5.1	Glykoalkaloide	44
4.1.5.2	Carotinoide	46
4.1.5.3	Anthocyane	47
5	Dokumentation des Wachstums und Charakterisierung ausgewählter Kartoffelsorten	48
5.1	Erste Dokumentation am 21.6.2017	48
5.2	Zweite Dokumentation am 17.7.2017	51
5.3	Dritte Dokumentation am 30.7.2017	53
5.4	Vierte Dokumentation am 29.8.2017	55
5.5	Fünfte Dokumentation am 28.9.2017	56
5.6	Fazit	57
5.7	Charakterisierung der Sorten	58
5.7.1	Sorte 'Anuschka'	58

5.7.2	Sorte 'Ditta'	59
5.7.3	Sorte 'Agria'	60
6	Mikroskopische Analyse der Stärkekörner von <i>Solanum tuberosum</i>	61
7	Anbau der Kartoffel	63
7.1	Ansprüche an Boden und Standort	63
7.2	Fruchtfolge	65
7.3	Nährstoffversorgung	65
7.3.1	Stickstoff (N)	66
7.3.2	Kalium (K)	66
7.3.3	Phosphor (P)	67
7.4	Bodenvorbereitung	67
7.5	Pflanztermin	68
7.6	Pflanzgutbedarf	68
7.7	Pflanztechnik	69
7.8	Bestandespflege	71
7.9	Ernte	71
7.10	Lagerung	72
7.11	Beschreibung des Anbau-Standortes	73
8	Schädlinge, Krankheiten und Gegenmaßnahmen	74
8.1	Schädlinge	74
8.1.1	Kartoffelkäfer (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	74
8.1.2	Schnellkäfer (Elateridae)	75
8.2	Krankheiten	78
8.2.1	Pilzkrankheiten	78
8.2.1.1	<i>Phytophthora infestans</i> – Erreger der Kraut- und Knollenfäule	78
8.2.1.2	<i>Rhizoctonia solani</i> – Erreger der Wurzelrotterkrankheit	79
8.2.2	Bakterielle Erkrankungen	80
8.2.2.1	<i>Erwinia carotovora</i> – Erreger der Schwarzbeinigkeit und der Knollennassfäule ..	81
8.2.2.2	<i>Streptomyces scabies</i> – Erreger des Kartoffelschorfes	82
9	Spezielle Bedingungen im Bio-Anbau	84
10	Konzepte für den Haushaltsökonomie und Ernährungslehre-Unterricht	85
10.1	Die Kartoffelpflanze	86
10.2	Die Kartoffel – vom Anbau bis zur Ernte	90
10.3	Die Kartoffel im Stärketest	94
10.3.1	Kartoffelgeheimnis	95
10.3.2	Kartoffeldetektive	98
10.4	Inhaltsstoffe der Kartoffel	101
10.5	Der Kartoffel-Speiseplan (inkl. Ernährungstagebuch)	104
10.6	Vitamin C in der Kartoffel	110
10.7	Ergänzungswirkung von Nahrungsprotein	114
10.8	Ökologische Aspekte – Kohlenhydratreiche Lebensmittel aus aller Welt	117
11	Zusammenfassung	120
12	Abstract	121
13	Literaturverzeichnis	122

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sortenvielfalt der Kartoffel in Peru [De Haan und Rodriguez, 2016]	2
Abbildung 2: Pflügen des Feldes und Pflanzung der Kartoffel aus der Chronik von Guamán Pomo de Alaya, 17. Jahrhundert. [Rothacker, 1992].....	3
Abbildung 3: Chuños der Sorte 'Ccompis' [De Haan et al., 2010].....	4
Abbildung 4: Friedrich der Große bei der Inspektion der Kartoffelfelder, Gemälde von R. Warthmüller, 1886. [Hachfeld, 1999]	8
Abbildung 5: Kupferstich von Kaspar Plautz mit Darstellung der Kartoffelpflanze [Plautz, 1621].....	9
Abbildung 6: Verwendung der Kartoffeln in Österreich 2015/16. [Statistik Austria, 2017; eigene Darstellung]	10
Abbildung 7: Pro-Kopf-Verbrauch an Kartoffeln in kg im Jahr 2005. [FAO, 2008; eigene Darstellung].....	11
Abbildung 8: Kladogramm von Solanum sect. Petota und Außengruppen [Spooner und Hijmans, 2001; Spooner et al., 1993; Peralta und Spooner, 2001] ..	13
Abbildung 9: Knollen-Vergleich, links Wildkartoffel, rechts Kulturkartoffel [Hammann, 2013]	16
Abbildung 10: Solanum tuberosum L. [Masclef, 1891].....	18
Abbildung 11: Kartoffel. Foto: C. Bauer, 2018.	19
Abbildung 12: Kartoffel, Querschnitt. Foto: C. Bauer, 2018.	20
Abbildung 13: Kartoffel, Längsschnitt. Foto: C. Bauer, 2018.	21
Abbildung 14: Anthocyanidine von Kartoffeln mit rotem, blauen und violetten Speicherparenchym. [Lachman et al., 2016].....	21
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Kartoffelpflanze, verändert nach Wishart et al. [2013]	22
Abbildung 16: Entwicklungsstadien der Kartoffel [Hack et al., 1993]	23
Abbildung 17: Inhaltsstoffe einer 100 g-Portion von Kartoffeln, mit Schale im Ofen gebacken, bezogen auf den durchschnittlichen Tagesbedarf (Energiebedarf 2000 kcal pro Tag) [Navarre et al., 2016].....	28
Abbildung 18: Exzentrische Schichtung der Stärkekörner [Kück und Wolff, 2009] ..	29
Abbildung 19: Struktur der Amylose mit α -1,4-glykosidisch verknüpften Glucoseeinheiten [Habermehl et al., 2008]	30
Abbildung 20: Struktur von Amylopektin mit -1,4- und -1,6-glykosidisch verknüpften Glucoseeinheiten [Habermehl et al., 2008]	30
Abbildung 21: Chemische Struktur der L-Ascorbinsäure [Yang et al., 2009]	35
Abbildung 22: Chemische Struktur des Thiamindiphosphat [Manzetti et al., 2014] .	37
Abbildung 23: Chemische Struktur von Nicotinsäureamid (oben) und Nicotinsäure [Penberthy und Kirkland, 2012].....	38
Abbildung 24: Chemische Struktur von Pyridoxal-5-Phosphat [Mooney und Hellmann, 2010].....	40
Abbildung 25: Chemische Struktur des Aglykon Solanidin und den unterschiedlichen Kohlenhydratkomponenten [Murkovich, o.J.]	45
Abbildung 26: Grüne Färbung der Knollen. Links: Außenansicht, rechts: Querschnitt, deutlich erkennbare Grünfärbung des Speicherparenchyms in unmittelbarer Umgebung des Periderms. Fotos: C. Bauer, 2018.	45
Abbildung 27: Chemische Struktur von β -Carotin [Lachman et al., 2016]	46
Abbildung 29: Sorte 'Anuschka', Pflanze mit Knollen. Foto: C. Bauer, 2017.	48
Abbildung 28: Sorte 'Anuschka' am Ende der Blüte. Foto: C. Bauer, 2017.	48
Abbildung 30: Pflanze der Sorte 'Ditta' mit Knospen. Foto: C. Bauer, 2017.	49
Abbildung 31: Stolonen und Knollen der Sorte 'Ditta'. Foto: C. Bauer, 2017.	49

Abbildung 32: Kartoffelbestand: der Reihenschluss hat noch nicht stattgefunden. Foto: C. Bauer, 2017.....	49
Abbildung 33: Sorte 'Agria' in der Blüte. Foto: C. Bauer, 2017.	50
Abbildung 34: Knollen und Stolonen der Sorte 'Agria'. Foto: C. Bauer, 2017.	50
Abbildung 35: Sorte 'Anuschka', Pflanzen beginnen abzusterben. Foto: C. Bauer, 2017.....	51
Abbildung 36: Sorte 'Ditta', Pflanzen stehen noch aufrecht. Foto: C. Bauer, 2017.	51
Abbildung 37: Kartoffelkäfer auf einer Pflanze der Sorte 'Ditta'. Foto: C. Bauer, 2017.....	52
Abbildung 39: Rotfärbung des Stängels bei der Sorte 'Agria'. Foto: C. Bauer, 2017.	52
Abbildung 38: Pflanzen der Sorte 'Agria'. Foto: C. Bauer, 2017.	52
Abbildung 40: Sorte 'Anuschka'. Foto: C. Bauer, 2017.	53
Abbildung 41: Vergleich der Sorten 'Ditta' (links) und 'Agria' (rechts). Foto: C. Bauer, 2017.....	54
Abbildung 42: Knollenvergleich der verschiedenen Sorten. Foto: C. Bauer, 2017..	54
Abbildung 43: Abgestorbene Pflanzen der Sorte 'Anuschka'. Foto: C. Bauer, 2017.	55
Abbildung 44: Sorte 'Agria'. Foto: C. Bauer, 2017.	55
Abbildung 45: Sorte 'Ditta'. Foto: C. Bauer, 2017.	55
Abbildung 46: Abgestorbene Pflanzen der Sorte 'Ditta'. Foto: C. Bauer, 2017.	56
Abbildung 47: Vergleich: Sorte 'Agria' (Mitte), Sorte 'Ditta' (links und rechts). Foto: C. Bauer, 2017.	56
Abbildung 48: Knollen der Sorte 'Anuschka'. Foto: C. Bauer, 2018.	58
Abbildung 49: Knollen der Sorte 'Ditta' . Foto: C. Bauer, 2018.	59
Abbildung 50: Knollen der Sorte 'Agria'. Foto: C. Bauer, 2018.	60
Abbildung 51: Zeichnung der Speicherparenchymzellen der Sorte 'Anuschka' mit Stärkekörnern. C. Bauer, 2018.	62
Abbildung 52: Neubildung von Stolonen und Knollen durch Regenereignis nach längerer Trockenperiode. Foto: C. Bauer, 2017.....	63
Abbildung 54: Zwiewuchs. Foto: C. Bauer, 2017.	64
Abbildung 53: Kindelbildung. Foto: C. Bauer, 2017.	64
Abbildung 55: Legemaschine im Hinteranbau. Foto: C. Bauer, 2018.	69
Abbildung 56: Traktor mit Hackgerät vorne und Legemaschine hinten. Foto: C. Bauer, 2018.	69
Abbildung 57: Zweireihiges Damm-System. Foto: C. Bauer, 2018.	70
Abbildung 58: Dammsystem mit 75 cm Dammbreite. Foto: C. Bauer, 2018.	70
Abbildung 59: Kartoffelroder. Foto: C. Bauer, 2017.	72
Abbildung 60: Umladen der geernteten Kartoffel auf den Ladewagen. Foto: C. Bauer, 2017.	72
Abbildung 63: Fraßschäden an den Fiederblättern, verursacht durch Larven des Kartoffelkäfers. Foto: C. Bauer, 2017.....	75
Abbildung 62: Frisch geschlüpfte Larven an der Blattunterseite. Foto: C. Bauer, 2017.....	75
Abbildung 61: Kartoffelkäfer. Foto: C. Bauer, 2017.	75
Abbildung 65: Drahtwurmschäden an den Knollen. Foto: C. Bauer, 2018.	76
Abbildung 64: Larve des Drahtwurmes. Foto: C. Bauer, 2017.....	76
Abbildung 66: Symptome von Phytophthora infestans an den Blättern der Kartoffelpflanze. [Kolbe et al., 2012]	78
Abbildung 67: Symptome eines Rhizoctonia solani-Befalls an den Knollen. [Berner et al., 2010]	80

Abbildung 68: Schwarzbeinigkeit an Kartoffeln. [Rosenzweig et al., 2016].....	81
Abbildung 69: Kartoffelschorf. [Rupp und Jacobsen, 2017]	82

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über eine Auswahl von wilden Kartoffelarten und Landrassen inklusive Herkunft und Ploidiestufe. Die Ploidiestufe wird im Unterkapitel 3.3 auf Seite 15 näher beschrieben. [Spooner und Hijmans, 2001]	14
Tabelle 2: Die acht Sortengruppen der Sektion Petota werden hauptsächlich in Südamerika kultiviert, einzig die Tuberosum-Gruppe ist weltweit verbreitet. [Huamán und Spooner, 2002]	15
Tabelle 3: Energiegehalt von verschiedenen kohlenhydratreichen Gerichten [Wegner et al., 2010].....	27
Tabelle 4: Zusammensetzung der wichtigsten Glykoalkaloide in Kartoffeln [Weiß, 2007].....	44

IV Abkürzungsverzeichnis

BW	biologische Wertigkeit
Ca ⁺	Calcium
cm	Centimeter
CRH	Corticotropin-releasing hormone
DNA	deoxyribonucleic acid
EZF	Extrazellulärflüssigkeit
EZR	Extrazellulärraum
Fe ²⁺	zweiwertiges Eisen
Fe ³⁺	dreiwertiges Eisen
g	Gramm
H ⁺	Wasserstoff
IZR	Intrazellulärraum
K ⁺	Kalium
kcal	Kilokalorien
l	Liter
mg	Milligramm
mm	Millimeter
mmol	Millimol
µg	Mikrogramm
Na ⁺	Natrium
NA	Nicotinamid
NAD	Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid
NADP	Nicotinamid-Adenin-Dinucleotidphosphat
NS	Nicotinsäure
PDCAAS	Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score
PI	Protease-Inhibitoren
PLP	Pyridoxal-5-Phosphat
PMP	Pyridoxamin-5-Phosphat
PNP	Pyridoxin-5-Phosphat
RS	resistente Stärke
TDP	Thiamindiphosphat
TRH	Thyrotropin-releasing hormone
TTP	Thiaminriphosphat
UV	ultraviolett

1 Einleitung

Die Kartoffel (*Solanum tuberosum*, Solanaceae) spielt seit Jahrtausenden eine essentielle Rolle in der menschlichen Ernährung. Die FAO hat das Jahr 2008 zum Internationalen Jahr der Kartoffel erklärt. Der Grundgedanke war, die Bedeutung der Kartoffel für die globale Ernährungssicherheit hervorzuheben sowie die Entwicklung von nachhaltigen Systemen für Produktion und Konsum zu forcieren, um den Anforderungen des zukünftigen Bevölkerungswachstums gerecht zu werden. [FAO, 2008]

Der theoretische Teil der vorliegenden Arbeit beschäftigt sich zunächst mit der Kulturgeschichte der Kartoffel, beginnend in Südamerika, bis zur Etablierung in Europa. Das Kapitel *Solanum tuberosum* beleuchtet sowohl die Abstammung, Systematik und Sorten der Kartoffel als auch morphologische Charakteristika und botanische Entwicklungsstadien. Außerdem werden ausgewählte Inhaltsstoffe, deren ernährungsphysiologische Bedeutung und der Stellenwert der Kartoffel in der Humanernährung erläutert.

Der praktische Teil besteht aus einer Wachstumsdokumentation von drei Kartoffelsorten, die von Mai bis Oktober 2017 im biologisch geführten Betrieb meiner Eltern in Niederösterreich durchgeführt wurde. Zusätzlich werden die Sorten hinsichtlich Pflanzen- und Knollenwachstum verglichen und anhand ihrer Kocheigenschaften und Verarbeitungseignung charakterisiert. Im Zuge einer mikroskopischen Analyse werden die Stärkekörner von *Solanum tuberosum* charakterisiert und grafisch dokumentiert. Daten zum Anbau der Kartoffel im niederösterreichischen Weinviertel, Besonderheiten im biologischen Anbau und ein Kapitel zu Schädlingen und Krankheiten von *Solanum tuberosum* runden den praktischen Teil ab.

Die Kartoffel eignet sich hervorragend für das Unterrichtsfach Haushaltsökonomie und Ernährung, weil sie verschiedenste Themen anspricht. Im letzten Abschnitt der Arbeit werden Konzepte und Materialien vorgestellt, die den Schülerinnen und Schülern die Besonderheiten und positiven Eigenschaften der Kartoffel aus diversen Blickwinkeln näher bringen.

2 Kulturgeschichte der Kartoffel

2.1 Die Urheimat der Kartoffel

Die Kulturgeschichte der Kartoffel nimmt ihren Ursprung auf den andinen Hochebenen Südamerikas. Archäologischen Forschungen zufolge gebrauchten die Einheimischen Kartoffeln bereits ca. 8.000 bis 5.000 v. Chr. als Nahrungsmittel. Ihre Kultur begann ca. 900 bis 600 v. Chr. [Hardin, 1991]

Die knollenbildenden *Solanum*-Arten sind in den südamerikanischen Staaten Bolivien, Chile, Ecuador, Kolumbien, Peru und Venezuela heimisch. Von ihnen hat nur eine einzige Art, nämlich *Solanum tuberosum* weltweite Bedeutung erlangt. [Rehm und Espig, 1984] Darüber hinaus gibt es rund 200 knollenbildende andere Kartoffelarten. Die große Vielfalt entstand durch die jahrhundertelange Kultur der Kartoffel in Südamerika. Die indianischen Völker achteten dabei nicht auf die Reinheit ihrer Kartoffeln, wie es in der modernen Landwirtschaft üblich ist. Durch den bunt gemischten Anbau der Kartoffeln kam es zu Kreuzungen innerhalb und auch zwischen den Arten. [Miedaner, 2014] Die große Vielfalt war auch für Nutzpflanzenzüchter im 19. Jahrhundert von großem Nutzen. Sie kreuzten die inzwischen entstandenen europäischen Sorten mit nord- und südamerikanischen krankheits- und schädlingsresistenten Sorten. [Zuckerman, 1998]



Abbildung 1: Sortenvielfalt der Kartoffel in Peru [De Haan und Rodriguez, 2016]

Als die Menschen auf die baumarmen Hochebenen der Anden gelangten, nützten sie das feuchte Grasland auf 2000 bis 4000 m Seehöhe, um Wildkartoffelarten vorerst zu sammeln und später zu kultivieren. [Kolbe, 1994] Die Hochplateaus in den Anden bieten keine optimalen Bedingungen für den Ackerbau, es gibt erhebliche Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht, von 20° C auf Null und kälter, dadurch werden die physiologischen Prozesse in der Pflanze unterbrochen. Auch Niederschlag ist oft nur unzureichend vorhanden. Unter diesen Bedingungen reifen Kulturen wie Weizen, Mais und Gerste nur sehr schwer. Die Kartoffel hingegen besitzt kohlenhydratreiche Knollen, die sie auch bei Frost und in Trockenzeiten am Leben halten. Die Kälteresistenz ist durch einen hohen Gehalt an Solanin in den Knollen bedingt. Im Gegensatz zu den bei uns bekannten Sorten, die wenig Solanin enthalten, waren die ursprünglich auf den südamerikanischen Hochebenen kultivierten Kartoffel eher bitter. [Haslinger, 2009] Die Thematik der Glykoalkaloide wird im Kapitel 4.1.5.1 (S. 44) näher beschrieben.

Die Kartoffel war auch aus kulturtechnischen Gründen das Hauptnahrungsmittel im südamerikanischen Hochland. Das Ackerland war meist in Terrassen angelegt. Dies bedeutete eine deutlich erschwerte Bearbeitung mit dem Pflug oder mit Arbeitstieren. Der einfache Anbau der Kartoffel war somit ideal für die vorherrschenden Bedingungen. Das Anlegen von Lebensmittelvorräten war aufgrund von ständig auftretendem Frost schwierig, und das Kochen wegen knappem Brennmaterial oft nicht möglich. Aus diesen Gründen entwickelten die Andenvölker eine besondere Technik zur Haltbarmachung der Kartoffeln.



Abbildung 2: Pflügen des Feldes und Pflanzung der Kartoffel aus der Chronik von Guamán Poma de Alaya, 17. Jahrhundert. [Rothacker, 1992]

Die Kartoffelknolle ist wegen ihres hohen Wassergehaltes besonders frostempfindlich. Diese Eigenschaft machten sich die Andenvölker insofern zunutze, indem sie einen Teil der Ernte am Boden ausbreiteten. Sie ließen die Knollen über Nacht gefrieren. Anschließend wurde das Wasser durch Stampfen mit den Füßen aus den Knollen gepresst. Zum Abschluss ließ man die derart behandelten Knollen trocknen. So entstanden gefriergetrocknete Kartoffeln, die Chuños genannt werden (siehe Abb. 3). [Zuckerman, 1998] Die Herstellung dauerte etwa zwei Wochen, danach konnten die Chuños mehrere Jahre lang aufbewahrt werden. Chuños sind auch heute noch Hauptbestandteil der täglichen Ernährung in der Andenregion. Die Herstellung heute unterscheidet sich kaum von der überlieferten Methode. [Hachfeld, 1999]



Abbildung 3: Chuños der Sorte 'Ccompis' [De Haan et al., 2010]

Die Bedeutung der Knolle bei verschiedensten Kulturen zeigt sich durch archäologische Funde. Beispiele dafür sind die Chavin-Kultur, die Tiahuanaco-Kultur und die Inka-Kultur. Jede dieser Kulturen brachte etwa durch Keramikgefäße, Textilien mit eingewebten Mustern und Erdzeichnungen die Bedeutung der Kartoffel zum Ausdruck. Nicht nur in Hinblick auf die Ernährung, sondern auch in traditionellen Ritualen und der Heilkunde spielte die Kartoffel eine Rolle, die lebenswichtige Nährpflanze wurde wie eine Gottheit verehrt. Am Titicacasee erinnern Terrassenbauten an die Kulturen von Tiahuanaco, für die neben der Viehzucht die Kartoffel als wichtige Nahrungsbasis galt. Beim mächtigen Volk der Inka, das über einen Zeitraum von etwa 100 Jahren (bis 1532) bis zur Eroberung Cuzcos durch Pizarro Bestand hatte, war der Ackerbau stark mit Prozessionen zu Ehren ihrer Götter verbunden. Im Dezember erfolgte die Pflanzung der Kartoffeln ausschließlich durch Frauen, denn durch ihre Fruchtbarkeit sollte die Ernte reichlicher ausfallen. Im Juni und Juli fand die Haupternte statt, die Kartoffeln wurden frisch als „Papas“ verzehrt oder getrocknet als „Chuños“ (siehe oben) eingelagert. [Kolbe, 1994]

2.2 Der Weg nach Europa

Spanische Eroberer wie Cortés oder Pizarro durchquerten um 1513 erstmals Mittelamerika in Richtung Westen und entdeckten den pazifischen Ozean. Hernán Cortés eroberte das Aztekenreich in Mexiko mitsamt seinen Goldschätzen. Francisco Pizarro unterwarf das Inkareich in den peruanischen Anden, wo zu dieser Zeit bereits Kartoffeln kultiviert wurden. Auch der spanische Konquistador Gonzalo Jiménez de Quesada war auf der Suche nach dem sagenhaften Goldland „El Dorado“. Er unterwarf das Volk der Muisca und gründete die Stadt Villa de la Santa Fe, die später nach dem ermordeten Muisca-König Bogotá benannt wurde. Anstatt des Goldes entdeckte er im Dorf Sorocotá die Kartoffel. [Kolbe, 1994]

Diese Entdeckung wurde von Juan de Castellano im Jahr 1537 in seinem Expeditionsbericht festgehalten. Als dieser 1886 veröffentlicht wurde, berichtete er als Erster über die Kartoffel, die er als „Trüffel“ bezeichnete. Sie sei eine „mehlige Wurzel von gutem Geschmack, eine sehr angenehme Speise für die Indianer und ein köstliches Gericht sogar für die Spanier“. [Kolbe, 1994]

Cieza de León, ein spanischer Chronist, beschrieb in seinem 1553 veröffentlichten Werk *Crónica del Perú*, wie sich geldgierige spanische Händler billig Chuños besorgten. Vor allem in Potosí verkauften sie diese zu überhöhten Preisen an die versklavten Minenarbeiter, welche auf die Billignahrung angewiesen waren. So legten die spanischen Händler nicht nur den Grundstein für ihr Vermögen sondern sie brachten auch die Kartoffel in Verruf. Sie galt damals als Sklavenessen. [Haslinger, 2009]

Zur Reise der Kartoffel nach Europa gibt es verschiedene Theorien. Der Weg über Spanien gilt als ziemlich sicher, weil es das einzige Land war, das direkten Kontakt zu den westlichen Gebieten Südamerikas hatte. Aus Teneriffa gibt es aus dem Jahr 1565 Aufzeichnungen über eine Schiffsladung von vor Ort geernteten Kartoffeln, die nach Belgien und Frankreich verfrachtet wurden. Dies wird als Beleg gesehen, dass die Knollen schon länger auf den Kanarischen Inseln angebaut wurden. Auch die Engländer beanspruchten die Einfuhr der Kartoffel für sich. Diese Theorie wurde aber aufgrund verschiedener Umstände widerlegt. [Haslinger, 2009] Der genaue Zeitpunkt der Einführung in Europa ist somit nicht bekannt.

2.3 Verbreitung der Kartoffel in Europa

Die Verbreitung in Europa ist durch regional unterschiedliche Verläufe gekennzeichnet. Um 1580 war die Pflanze als Kuriosität in botanischen Gärten in ganz Europa bekannt. Sie wurde wegen ihrer schönen Blüten und ihrer Neuartigkeit in den Gärten der Fürsten und geistlichen Herren gehalten. [Fuess, 1938]

1596 bezeichnete sie Gaspard Bauhin in seinem Werk *Phytopinax* erstmals mit dem noch heute gebräuchlichen wissenschaftlichen Namen *Solanum tuberosum*. [Haslinger, 2009] Bis zu dieser Zeit war die Kartoffel eine reine Gartenpflanze und nur für Botaniker interessant. Die Bauern misstrauten der neuen Knolle und verweigerten den Anbau. Von den Ärzten wurde das Vorurteil verbreitet, die Kartoffel sei in größeren Mengen giftig. Überdies war ihr Aussehen ungewohnt. Sie glich keinem der bekannten Lebensmittel und war noch am ehesten der Trüffel ähnlich. Daher kommt auch die Bezeichnung „Tartuffeln“, die bis Ende des 18. Jahrhunderts vorherrschend war. Daneben gab es zahlreiche regional spezifische mundartliche Ausdrucksweisen für die Knollen, wie zum Beispiel Kartuffeln, Grundbirne, Erdbirne, Eräppel oder Erdbohnen. [Fuess, 1938]

Spanien: In Spanien wurde bereits Anfang des 16. Jahrhunderts in der Nähe von Sevilla feldmäßiger Kartoffelbau betrieben. Allerdings dürfte ihr Anbau nur lokalen Charakter haben, denn das spanische Klima war nicht ideal für den Kartoffelanbau. Außerdem dominierten im starren adeligen Wirtschaftssystem Monokulturen wie Wein, Oliven und Getreide. [Ziessow, 1992]

Portugal: Im benachbarten Portugal galt die Pflanze aufgrund ihrer giftigen oberirdischen Teile als gesundheitlich bedenklich. Sie wurde nur in den Notzeiten des 18. Jahrhunderts angepflanzt. Zur dominierenden Feldfrucht wurde stattdessen der Mais. [Haslinger, 2009]

Irland und England: Als erstes europäisches Land nahm Irland die Kartoffel um 1660 als Kulturpflanze an und machte sie im 18. Jahrhundert zum Hauptnahrungsmittel. Neben der Absicherung gegen Hunger und Not förderten günstiges Klima und Bodenbeschaffenheit diese Entwicklung. Auch wenn vorerst weiterhin Hafer, als Porridge oder Brot, die Hauptrolle spielte, so war das regnerische Klima für den

Kartoffelanbau ideal. Die Iren waren auf dem besten Weg, die Kartoffel anzubauen. [Ziessow, 1992]

England betrachtete diese Entwicklungen mit Argwohn. Kartoffeln galten dort als minderwertige Nahrung für Arme. [Barth, 2008] Zudem wurden sie zum Gemüse gezählt und daher als minderwertig angesehen, denn die Engländer waren ausgeprägte Fleischesser. Obst wurde zwar gerne gegessen, Gemüse aber nur in der Fastenzeit. Erst mit der industriellen Revolution gewann die Kartoffel an Bedeutung. [Zuckerman, 1998]

In den Jahren 1845/46 kam es zu einer europaweiten *Phytophthora*-Epidemie. Die Fäule-Erkrankung der Kartoffelpflanze hinterließ besonders in Irland tiefe Spuren. Es kam zu mehreren, aufeinanderfolgenden Missernten und zu einer Hungersnot, die die irische Bevölkerung um ein Fünftel schrumpfen ließ. [Ziessow, 1992] Der Erreger der Kraut- und Knollenfäule, *Phytophthora infestans*, wird im zweiten Teil der Arbeit (S. 78) näher beschrieben.

Die Kraut- und Knollenfäule führte auch noch mehr als 50 Jahre später zu Hungersnöten in Europa. So kam es im Winter 1916/17 infolge der Krankheit zu großen Ernteausschlägen und zum sogenannten „Steckrübenwinter“, denn Ersatznahrungsmittel waren oft nur Kohl- und Steckrüben. In Deutschland beispielsweise wurden in diesem Jahr statt 50 Mio. Tonnen Kartoffeln nur etwa die Hälfte geerntet. [Putz, 2003]

Deutschland: In Deutschland konnte der erste feldmäßige Kartoffelanbau um 1647 in der Region um Pilgramsreuth in Bayern nachgewiesen werden. Die ansässigen Bauern begannen dort etwa 90 Jahre nach dem Import durch die Spanier mit der Aussaat der neuen Feldfrucht. [Barth, 2008]

Eine wichtige Rolle im deutschen Kartoffelanbau spielt ohne Zweifel Friedrich der Große. Er erließ 1756 den sogenannten *Kartoffelbefehl*, in dem er seine Untertanen zum Anbau von Kartoffeln aufforderte. Er reagierte damit auf die Hungersnot in Pommern, denn er erkannte das Potential der Kartoffel. Nur sie konnte die Ernährung der Bevölkerung sichern. Die Kartoffel sollte eine Alternative zum Getreide werden,

das durch Missernten knapp geworden war. [Heilmeyer und Humm, 2012] Die Ablehnung in der Bevölkerung war jedoch nach wie vor groß, denn kaum jemand wusste über die Zubereitung der Kartoffel Bescheid. Der König jedoch blieb hartnäckig und zwang die Bauern durch Gesetze dazu, zehn Prozent ihres Ackerlandes mit Erdäpfeln zu bepflanzen. [Haslinger, 2009] Weitere Maßnahmen seiner Agrarpolitik, wie etwa die Aufhebung des Flurzwanges und der Dreifelderwirtschaft, förderten den Anbau der Kartoffel. In diesem System waren die Bauern an einen Wechsel von Sommergetreide, Wintergetreide und Brache gebunden. Zudem durfte die Ernte auf den Feldern eines Flurstücks nur zur gleichen Zeit erfolgen, um Flurschäden durch übermäßiges Befahren der Äcker zu verhindern. Erst mit der Aufhebung des Flurzwanges durch Friedrich den Großen Ende des 18. Jahrhunderts nahm der Kartoffelanbau stetig zu. [Barth, 2008]



Abbildung 4: Friedrich der Große bei der Inspektion der Kartoffelfelder, Gemälde von R. Warthmüller, 1886. [Hachfeld, 1999]

Österreich: In Österreich liegen die Ursprünge der Kartoffel im Stift Seitenstetten. Der Abt Kasper Plautz erhielt Knollen aus den Niederlanden und baute sie im Klostersgarten an. Auch in der Klosterchronik findet die Kartoffel Erwähnung (siehe Abb. 5, Seite 9).

Der Anbau beschränkte sich jedoch zunächst auf die Blumengärten. Unter Kaiserin Maria Theresia gab es 1770 noch ein Patent, welches besagte, dass der Getreideanbau auf keinen Fall zugunsten des Kartoffelanbaus eingeschränkt werden durfte. Die Hungerjahre 1770/71 förderten die Verbreitung der Knolle, in agrarisch dominierten Gebieten hatten es die Erdäpfel jedoch – im Gegensatz zu protoindustrialisierten Regionen – besonders schwer, weil die Bevölkerung weniger

an Hunger litt und zudem sehr konservativ eingestellt war. Besonders in entlegenen Gegenden, etwa im Sulmtal südwestlich von Graz, war man skeptisch. Hier glaubte man, dass die Erdäpfel Bauchschmerzen auslösten. Sie dienten deshalb noch Mitte des 20. Jahrhunderts ausschließlich als Schweinefutter.

Im 18. Jahrhundert gab es viele Bestrebungen, die Kartoffel unters Volk zu bringen. Sogar die Pfarrer thematisierten die Kartoffel in ihren Predigten und wiesen die Gläubigen auf deren Vorteile hin. Trotzdem dauerte es noch lange, bis sich die Erdäpfel durchsetzen konnten. Dazu trugen auch kritische Stimmen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bei, die immer wieder vor den Folgen des Erdäpfelkonsums warnten.

Ernährungswissenschaftler schrieben ihnen einen äußerst geringen Nährwert zu und

Wirtschaftswissenschaftler befürchteten ein übermäßiges Bevölkerungswachstum durch die Förderung des Anbaus. Die Entwicklung von künstlichem Dünger durch Justus von Liebig brachte schließlich den Erdäpfelanbau. [Haslinger, 2009]



Abbildung 5: Kupferstich von Kaspar Plautz mit Darstellung der Kartoffelpflanze [Plautz, 1621]

Osteuropa: In Osteuropa war die Verbreitung der Kartoffel noch viel schwieriger als im übrigen Europa. Zu Beginn des 18. Jahrhunderts waren die Knollen in Slowenien nur als Viehfutter akzeptiert. Im Jahr 1767 förderte ein Rundschreiben von Kaiserin Maria Theresia an die Bezirkshauptmannschaften den Anbau und die Zucht der Erdäpfel. So konnten auch Hungersnöte in der Bevölkerung eingedämmt werden. In Ungarn wurden Erdäpfel, durch die Kaiserin gefördert, ab Mitte des 18. Jahrhunderts trotz Vorurteilen in der Bauernschaft feldmäßig angebaut.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass erst mit der Epoche der Industrialisierung, besonders der Mechanisierung der Landwirtschaft, der Durchbruch der Kartoffel als Massennahrungsmittel gelang. Einerseits ist der erhöhte Konsumbedarf dafür verantwortlich [Teuteberg, 1986], andererseits erforderte der feldmäßige Kartoffelanbau einen hohen Aufwand an Arbeitskräften und Geräten. Dies war bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts durch die Überbevölkerung und später durch

entsprechende Maschinerie gedeckt. Diese Faktoren erklären auch die Verschiebung der Massenproduktion von Kartoffeln von West- nach Osteuropa, ein Prozess, der bis heute Bestand hat. [Ziessow, 1992]

2.4 Gegenwärtige Bedeutung der Kartoffel

Die Kartoffel ist auch heute ein wichtiges Lebensmittel. Ihr Stellenwert in unserer täglichen Nahrung ist unumstritten. Weltweit konsumieren die Menschen Kartoffeln, entweder frisch oder verarbeitet. Der Trend geht vermehrt in Richtung Convenience-Food wie Kartoffelknödel, Pommes Frites, Gnocchi, Kartoffelchips und andere Erzeugnisse [FAO, 2008] Kartoffeln werden aber auch als Tierfutter und zur Erzeugung von Bioethanol genutzt. Die Kartoffelstärke findet überdies Anwendung in der Papier- und Papierverarbeitungsindustrie, Bauchemie und Textilindustrie. [Agrana, 2017]

In den Jahren 2015/16 wurden in Österreich 62 % der insgesamt 683 t im Inland verwendeten Kartoffeln für Nahrungszwecke verwendet. Der Pro-Kopf-Verbrauch in Österreich liegt bei knapp 50 kg/ Jahr. 15 % wurden im Nahrungsmittelbereich, 9 % industriell verarbeitet. Der Rest verteilt sich auf Saatkartoffel, Futtermittel und Verluste (siehe Abb. 6). [Statistik Austria, 2017]

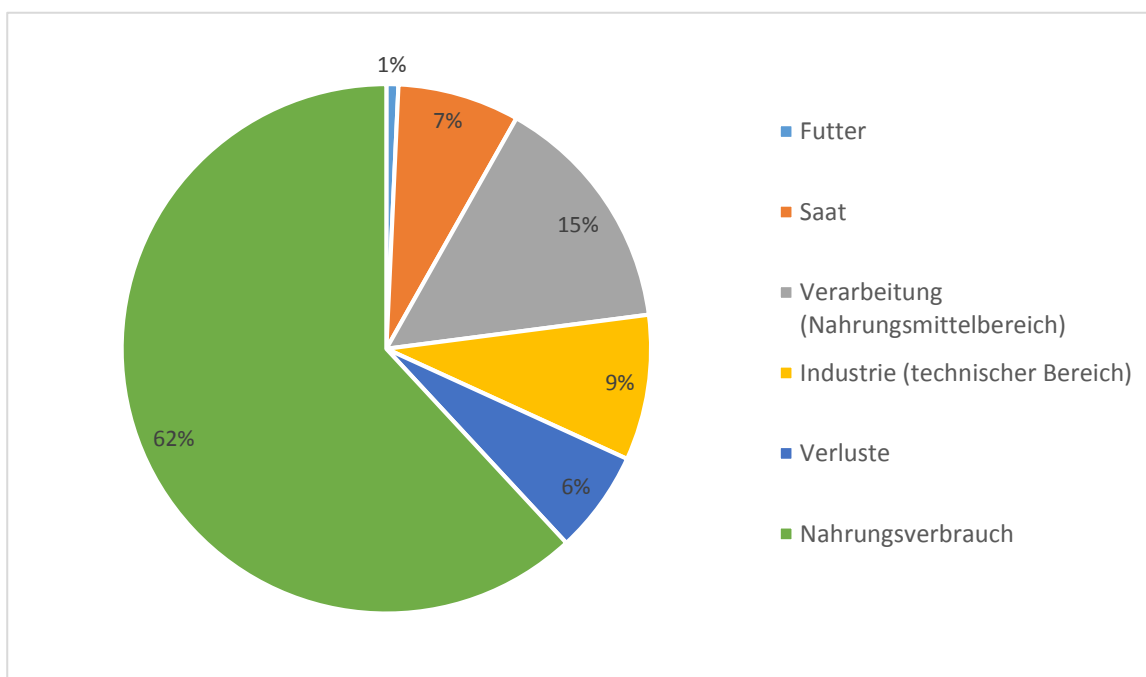


Abbildung 6: Verwendung der Kartoffeln in Österreich 2015/16. [Statistik Austria, 2017; eigene Darstellung]

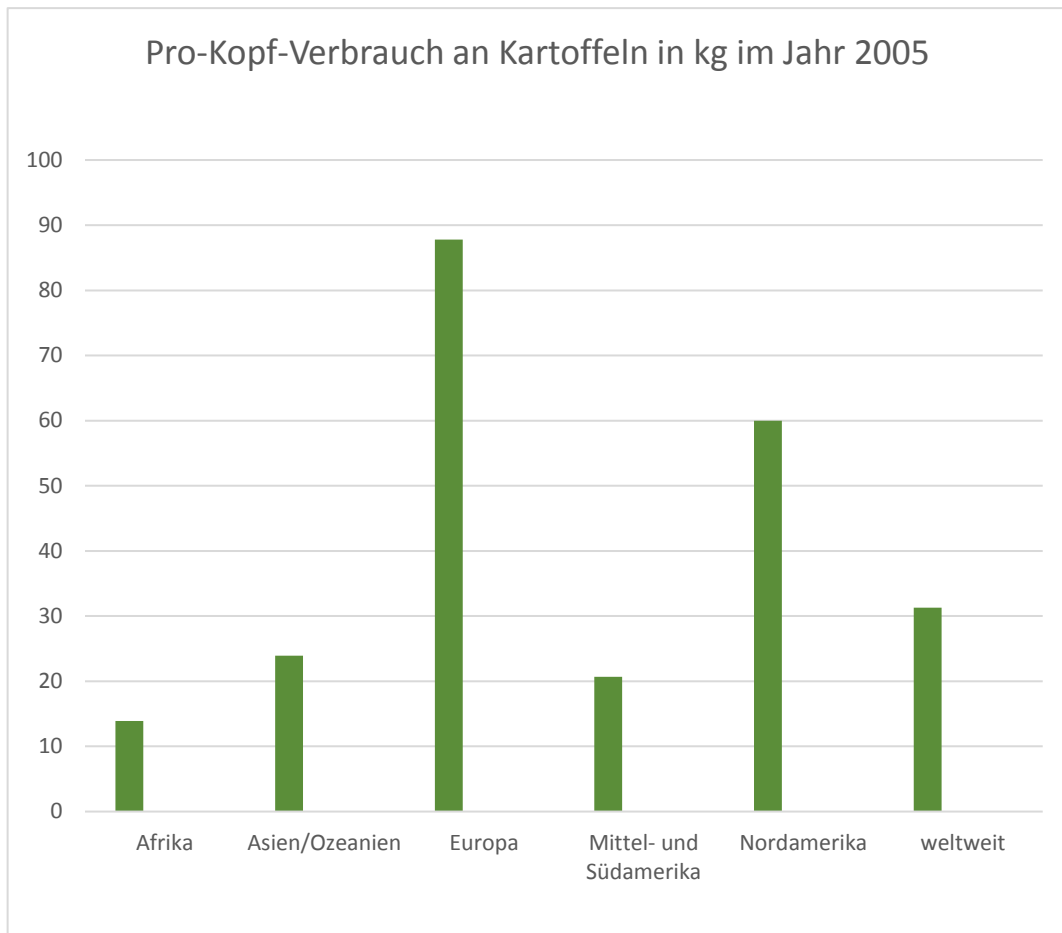


Abbildung 7: Pro-Kopf-Verbrauch an Kartoffeln in kg im Jahr 2005. [FAO, 2008; eigene Darstellung]

Weltweit beträgt die Kartoffelproduktion etwa 381 Mio. Tonnen, davon wird ungefähr die Hälfte in Asien produziert – und auch konsumiert. Im Pro-Kopf-Verbrauch hingegen führt Europa mit 87,8 kg pro Jahr (siehe Abb. 7). [FAO, 2017] Dieser Wert hat sich in den letzten hundert Jahren mehr als halbiert, um 1900 betrug der Kartoffelkonsum beispielsweise in Deutschland noch 300 kg/Jahr. [Barth, 2008] Laut Schätzungen der FAO liegt der Anteil der Kartoffeln, die als Nahrung konsumierten werden weltweit ungefähr bei zwei Dritteln. In Österreich verhält es sich demnach recht ähnlich. [FAO, 2008]

3 Solanum tuberosum

3.1 Systematik und Klassifikation

Die kultivierte Kartoffel *Solanum tuberosum* und ihre wilden Verwandten gehören zur Familie der Nachtschattengewächse (*Solanaceae*). Diese umfasst neben der Kartoffel noch weitere wichtige Kulturpflanzen wie die Tomate, Aubergine und den Paprika sowie Zier-, Arznei- und Giftpflanzen, wie zum Beispiel die Tollkirsche, den Stechapfel und das Bilsenkraut. [Schade und Jockusch, 2016] Innerhalb der Gattung *Solanum* wird die Art *Solanum tuberosum* in die Sektion *Petota* eingeordnet. [Nabors, 2007; Spooner und Hijmans, 2001]

Die Abbildung 8 (S. 13) zeigt ein Kladogramm verschiedener Sektionen innerhalb der Gattung *Solanum*. Neben der Sektion *Petota* werden die Sektionen *Lycopersicum* (Tomaten), *Juglandifolium*, und die Subsektion *Lycopersicoides* angeführt. Die Sektionen *Etuberosum* und *Basarthrum* werden hier als Außengruppen genannt. Die Sektion *Petota* besteht aus vier Kladen. Eine Klade bildet eine geschlossene Abstammungsgesellschaft. Die Kladen 1 und 2 umfassen nord- und zentralamerikanische, die Klade 3 südamerikanische Wildkartoffelarten. Die Klade 4 beinhaltet alle kultivierten Kartoffelarten. [Spooner et al., 2017]

Die in Südamerika kultivierten Kartoffelarten werden auch als Landrassen bezeichnet. [Spooner et al., 2014] Landrassen sind lokale Pflanzenpopulationen, die von der ansässigen Bevölkerung über hunderte bis tausende Jahre gezüchtet wurden. Sie können über verschiedene Regionen verteilt sein oder nur in einem bestimmten Tal oder Gebirge vorkommen. In der modernen Landwirtschaft mit ihren Monokulturen haben Landrassen an Bedeutung verloren, viele sind mittlerweile ausgestorben. [Nabors, 2007]

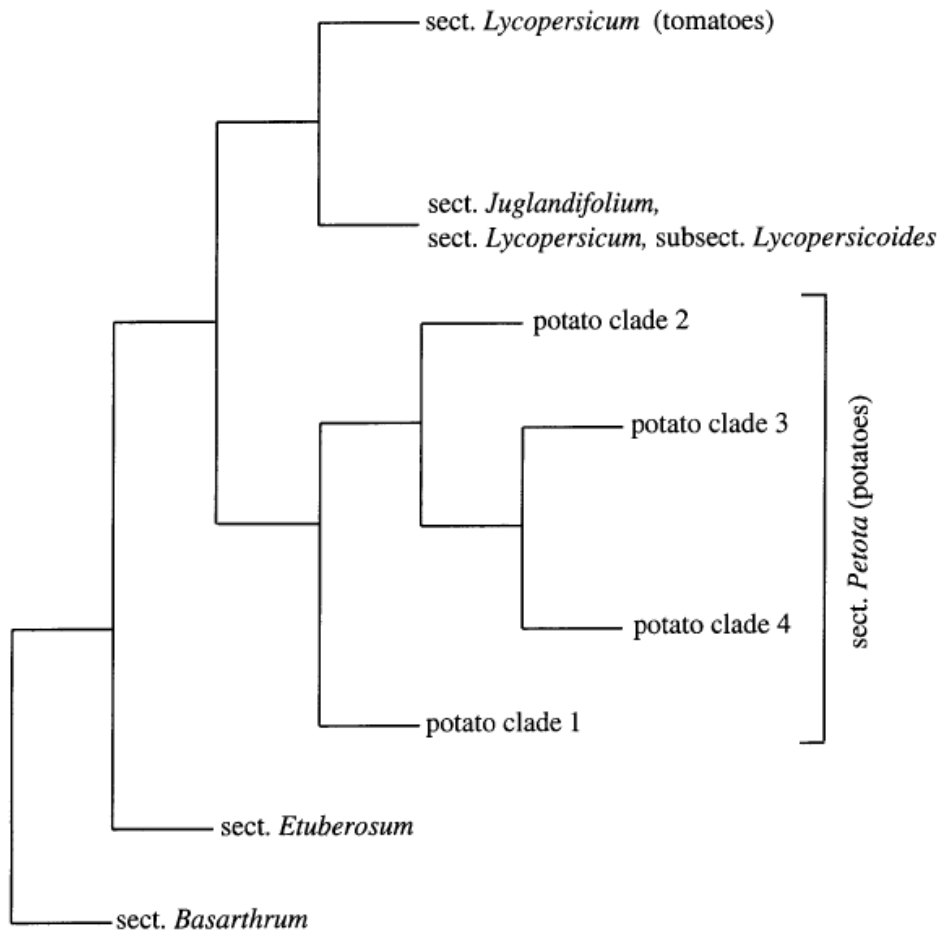


Abbildung 8: Kladogramm von *Solanum* sect. *Petota* und Außengruppen [Spooner und Hijmans, 2001; Spooner et al., 1993; Peralta und Spooner, 2001]

Wilde Kartoffelarten kommen hauptsächlich in Argentinien, Bolivien, Mexiko und Peru vor. (siehe Tab. 1, S. 14) Viele davon haben beschränkte Verbreitungsgebiete. [Hijmans und Spooner, 2001] Sie können sich durch natürliche Kreuzungen und ihre hohe genetische Diversität optimal an Umweltbedingungen anpassen. Ihre Resistenz gegenüber Krankheiten und ihre Stresstoleranz macht man sich schon lange in der Resistenzzüchtung zunutze. [Hawkes, 1958] Die Eignung der Wildkartoffelarten für die Züchtung ist jedoch begrenzt. Die vorrangigen Ziele sind nach wie vor Ertragssteigerung, Qualitätsverbesserung und Verwendungseignung. Bei Wildkartoffelarten sind außerdem die in der modernen Pflanzenzucht meist wertbestimmenden Eigenschaften wie Knollengröße und -form, Ertrag und Speiseeignung nur in sehr geringem Ausmaß gegeben. [Hammann, 2013]

Taxon	Herkunft	Ploidiestufe
Wilde Kartoffelarten		
<i>Solanum acaule</i>	Argentinien, Bolivien, Peru	4x
<i>S. achacachense</i>	Bolivien	2x
<i>S. brachycarpum</i>	Mexiko	6x
<i>S. calacalinum</i>	Ecuador	2x
<i>S. calvescens</i>	Brasilien	3x
<i>S. hougasii</i>	Mexiko	6x
<i>S. mochiquense</i>	Peru	2x
<i>S. neovargasii</i>	Peru	2x
<i>S. pinnatisectum</i>	Mexiko	2x
<i>S. stoloniferum</i>	Mexiko	2x
<i>S. tapojense</i>	Peru	2x
Landrassen		
<i>S. ajanhuiri</i>	Bolivien, Peru	2x
<i>S. chaucha</i>	Bolivien, Peru	3x
<i>S. curtilobum</i>	Bolivien, Peru	4x
<i>S. juzepczukii</i>	Bolivien, Peru	3x
<i>S. phureja</i>		
subsp. <i>hygrothermicum</i>	Peru	4x
subsp. <i>phureja</i>	Anden	2x
<i>S. stenotomum</i>		
subsp. <i>goniocalyx</i>	Peru	2x
subsp. <i>stenotomum</i>	Bolivien, Peru	2x
<i>S. tuberosum</i> L.		
subsp. <i>andigena</i>	Anden	4x
subsp. <i>tuberosum</i>	Chile, weltweit verbreitet	4x

Tabelle 1: Übersicht über eine Auswahl von wilden Kartoffelarten und Landrassen inklusive Herkunft und Ploidiestufe. Die Ploidiestufe wird im Unterkapitel 3.3 auf Seite 15 näher beschrieben. [Spooner und Hijmans, 2001]

3.2 Sortengruppen

Huamán und Spooner [2002] unterscheiden innerhalb der Sektion *Petota* neun Sortengruppen (siehe Tab. 2, S. 15). Die moderne Kulturkartoffel *Solanum tuberosum* bildet die Tuberosum-Sortengruppe. Darin fasst man die nicht wild vorkommenden Kartoffeln zusammen. Sie haben keine natürliche geographische Verbreitung oder Populationsstruktur. [Bradshaw et al., 2007] Die anderen acht Gruppen zeigen Differenzen in Größe, Form und Farbe der Knollen, Wuchsform, Blattwölbung und Behaarung der Blätter und Frostresistenz. Die verschiedenen Eigenschaften der Sortengruppen bestimmen das Anbaugebiet (siehe Tab. 2, S. 15). [Machida-Hirano, 2015]

Sortengruppe	Anbaugebiet
Ajahuiri-Gruppe	Südperu bis Zentralbolivien
Stenotomum-Gruppe	Kolumbien bis Nordargentinien
Phureja-Gruppe	Peru
Chaucha-Gruppe	Ecuador bis Nordperu
Juzepczukii-Gruppe	Zentralperu bis Nordargentinien
Curtilobum-Gruppe	Ostvenezuela, Zentralperu bis Nordargentinien
Andigenum-Gruppe	Ostvenezuela bis Nordargentinien
Chilotanum-Gruppe	südliches Zentralchile
Tuberosum-Gruppe	weltweit

Tabelle 2: Die acht Sortengruppen der Sektion *Petota* werden hauptsächlich in Südamerika kultiviert, einzig die *Tuberosum*-Gruppe ist weltweit verbreitet. [Huamán und Spooner, 2002]

3.3 Abstammung und Domestizierung

Die Herkunft und Abstammung der Kartoffel *Solanum tuberosum* sind sehr komplex und nach wie vor Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen und Forschungen. Grundsätzlich gibt es zwei Hypothesen. Russische Forscher sind der Meinung, dass die Kartoffel zwei voneinander getrennte Hauptursprungsgebiete hat. Diese zwei Gebiete sind das peruanische und das bolivianische Hochplateau und das südliche Chile. [Juzepczuk und Burkasov, 1929]

Englische Forscher wie Salaman [1946], Hawkes [1999] und Simmonds [1995] hingegen entwickelten die Hypothese, die Kartoffel sei zwischen Kolumbien und Bolivien entstanden und habe sich nach der Domestizierung auf andere Regionen Südamerikas ausgebreitet. [Spooners et. al, 2014]

Die Chromosomenanzahl beträgt bei allen Kartoffelarten $2n = 12$. Darüber hinaus gibt es bei den verschiedenen Arten aber auch eine unterschiedliche Anzahl an Chromosomensätzen (Ploidiestufen). Außer den diploiden existieren auch tri-, tetra- und pentaploide Arten. (siehe Tab. 1, S. 14) Bei den wilden Verwandten der Landrassen in der Sektion *Petota* gibt es auch hexaploide Arten. [Spooners et al., 2005] Die meisten Wildkartoffelarten in Südamerika sind jedoch diploid und bilden sehr kleine Knollen. Unsere Kulturkartoffel, sowie die *Andigenum*- und *Chilotanum*-Gruppe sind tetraploid. Die tetraploiden Arten kommen in zwei unterschiedlichen

Regionen Südamerikas vor. Die Andigenum-Gruppe stammt aus den peruanischen Anden, die Chilotanum-Gruppe aus dem südlichen Zentral-Chile. [Huamán und Spooner, 2002]

Ames und Spooner [2008] erstellten DNA-Analysen von Herbarbelegen aus dem Zeitraum 1600 bis 1901. Sie konnten damit zeigen, dass in Europa bereits im Jahr 1811 Erbgut aus der Chilotanum-Gruppe vorhanden war. Erbsubstanz aus der Andigenum-Gruppe tauchte ab 1700 in Europa auf und war bis Ende des 19. Jahrhunderts dominant. Von Beginn des 20. Jahrhunderts an bis heute überwiegt das Erbgut aus der Chilotanum-Gruppe. Dieses findet sich in 99 % der modernen Sorten. Somit widerlegten die Forscher die Hypothese, die Chile-Landrassen seien schon während der großen Krautfäule ab 1845 als Ersatz für die Andigenum-Kartoffel eingeführt worden. [Ames und Spooner, 2008]

Durch die Domestizierung und Weiterentwicklung in der Züchtung haben sich bestimmte Merkmale der Kartoffelpflanze verändert. Verkürzte Stolonen und größere Knollen im Vergleich zu den Wildkartoffeln (siehe Abb. 9) bringen höhere Erträge. Ebenso verändert hat sich der Gehalt an Glykoalkaloiden. [Spooner et al., 2014] Wildkartoffelarten produzieren

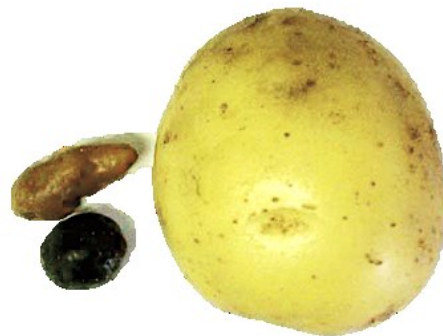


Abbildung 9: Knollen-Vergleich, links Wildkartoffel, rechts Kulturkartoffel [Hammann, 2013]

eine große Anzahl an verschiedenen Glykoalkaloiden, die ab einer bestimmten Menge giftig sind für Bakterien, Pilze, Viren, Insekten, Tiere und Menschen. Die Kulturkartoffel *Solanum tuberosum* enthält nur sehr geringe Mengen an Glykoalkaloiden. [Friedman, 2006]

Eine der wichtigsten Veränderungen ist die Anpassung an die Langtagverhältnisse in Europa. [Spooner et al., 2014] Während die südamerikanischen Arten in Äquatornähe wachsen und somit Kurztagspflanzen sind, haben sich die Kulturen in Europa zu Langtagspflanzen entwickelt. Es gibt also innerhalb der Art *Solanum tuberosum* Unterarten oder Sorten, die unterschiedlichen Ansprüche an die Photoperiode stellen. [Weiler et al., 2008]

Im Allgemeinen benötigen Langtagspflanzen eine kritische Tageslänge von ≥ 14 Stunden für die Blühinduktion. Bei Kurztagspflanzen wird die Blühinduktion bei ≤ 12 Stunden ausgelöst. Tagneutrale Pflanzen blühen unter allen photoperiodischen Bedingungen. [Weiler et al., 2008] Neben der Blütenbildung können auch die Frucht- und Knollenbildung von der Tageslänge abhängig sein. Diese Reaktion auf die relative Länge von Tag und Nacht nennt man Photoperiodismus. In den 1940er-Jahren fand man durch Versuche heraus, dass in Wirklichkeit die Nachtlänge, beziehungsweise die Dunkelphase, entscheidend ist für bestimmte Prozesse wie etwa die Blütenbildung. [Nabors, 2007] Bei europäischen Langtagsorten wird die Knolleninduktion und damit die vegetative Vermehrung unter Kurztagverhältnissen gefördert. Die Blühinduktion, also die generative Vermehrung, und das Knollenwachstum finden hingegen unter Langtagbedingungen statt. [Diepenbrock et al., 2016]

3.4 Morphologische Charakteristika

Die Kartoffel ist eine mehrjährige Staude, in der Landwirtschaft wird sie jedoch einjährig kultiviert. Die vegetative Vermehrung erfolgt über Ausläuferknollen. [Struik, 2007]

3.4.1 Stängel und Blätter

Je nach Sorte und Wachstumsbedingungen weist die Kartoffelpflanze drei bis acht knollenbürtige Stängel auf, die grün, rötlich oder violett gefärbt sein können. Knollenbürtig bedeutet, dass die Triebe aus der Mutterknolle hervorgegangen sind. [Diepenbrock, 2016; Struik, 2007] Die Stängel haben einen kantigen Querschnitt und enthalten im jungen Stadium Mark, das später abgebaut wird. Dadurch wird der Stängel hohl. [Nitsch, 2003] Die Blätter sind wechselständig angeordnete Fiederblätter, pro Knoten gibt es ein Hauptblatt. Dieses Hauptblatt hat jeweils eine Endfieder, größere Fiederpaare und kleine, ungestielte Zwischenfiedern. Die Endfiedern können sortenspezifische Verwachsungen aufweisen. [Cutter, 1992] Je nach Sorte sind die Blätter klein- bis großblättrig und hell- bis dunkelgrün gefärbt. Ebenfalls sortenabhängig ist die Blattoberfläche. Sie kann wenig bis stark behaart sein, rau oder glatt und glänzend oder matt. [Nitsch, 2003]



Abbildung 10: *Solanum tuberosum* L.
[Masclef, 1891]

3.4.2 Blüte und Frucht

Die Ausbildung des Blütenapparates kennzeichnet den Beginn der generativen Entwicklung der Pflanze. Wie bereits erwähnt, erfolgt die Blüte meist unter Langtagbedingungen. Zur Blühinduktion sind zwölf bis vierzehn Stunden Tageslicht erforderlich. Die Dauer der Blüte erstreckt sich auf sechs bis zwölf Tage. [Nitsch, 2003] Der Blütenstand ist ein Doppelwickel mit Einzelblüten, die je fünf verwachsene Kelch-, Blüten- und Staubblätter zeigen. [Diepenbrock et al., 1999] Die Blütenfarben sind sortenspezifisch bedingt, sie reichen von weiß bis rot und tief violett. Ein

auffälliges Merkmal sind die fünf leuchtend gelben Staubbeutel (Antheren). Diese sind in der Mitte der Blüte dicht um die Narbe angeordnet. [Nitsch, 2003] Die Bestäubung erfolgt vorrangig durch Fremdbestäubung. Pollen anderer Pflanzen werden durch Insekten oder den Wind übertragen. Die anschließende Ausbildung der Beeren findet nicht bei jeder Sorte statt. Der Durchmesser der Beeren beträgt 1-2 cm, die Farbe ist sortenspezifisch grün bis violett. Aufgrund des hohen Solaninergehalts sind sie giftig und ungenießbar. [Nitsch, 2003] Im Inneren der Beere befinden sich etwa 150 Samen. [Diepenbrock et al., 2016]

3.4.3 Knollen

Die unterirdisch gebildeten Sprossknollen der Kartoffel dienen der Pflanze sowohl als Speicherorgan, als auch zur vegetativen Vermehrung. Sie stellen eine Metamorphose der Sprossachse dar. Im Falle der Kartoffel werden sie als Anpassung an den jahreszeitlichen Klimawechsel gebildet. Die Sprossachse zählt neben Blättern und Wurzeln zu den drei Grundorganen des Kormus. Die Sprossknollen der Kartoffel entstehen aus

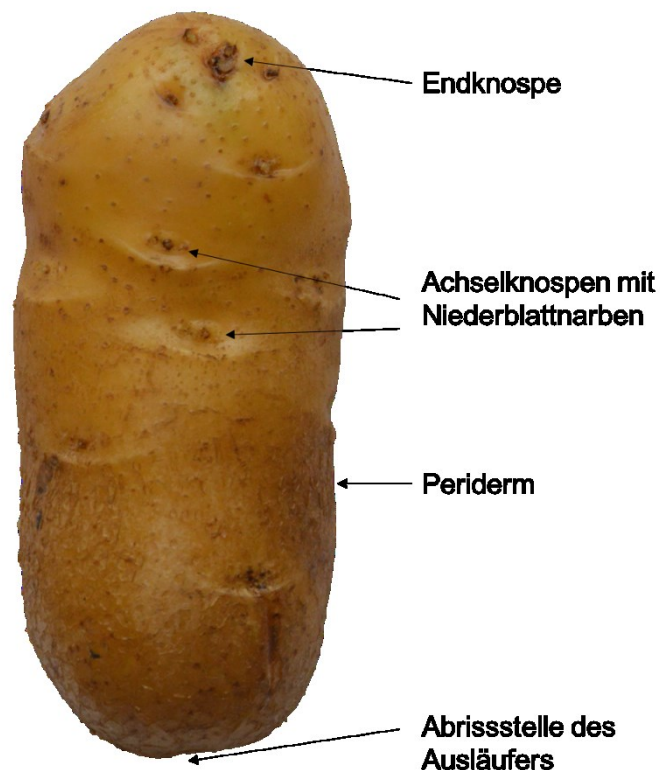


Abbildung 11: Kartoffel. Foto: C. Bauer, 2018.

unterirdischen Sprossabschnitten und können sich über mehrere Internodien erstrecken. In der Regel sind sie endständige Anschwellungen der Stolonen. [Weiler et al., 2008] Stolonen sind Seitensprosse der Stängelbasis, die ihr Längenwachstum mit der Knollenbildung abschließen. [Diepenbrock et al., 2016] Sie wachsen diageotrop, das bedeutet, der Winkel zwischen Wuchsrichtung und Schwerkraft beträgt genau 90° . [Weiler et al., 2008] Im Ackerbau sind kurze Stolonen erwünscht, da dies die Ernte vereinfacht. Manche Sorten bilden sehr kurze Stolonen, sodass die Knollen einer Staude dicht um die Stängel angelegt werden. Wildarten hingegen haben zum Teil sehr lange Stolonen. [Nitsch, 2003] An der Basis der Knolle sitzt in

einer deutlichen Vertiefung, dem sogenannten Nabel, die Abrissstelle des Ausläufers. Am gegenüberliegenden Ende der Knolle befindet sich die Endknospe. Um die Knolle herum sind Seitensprossanlagen angeordnet. Diese befinden sich im Knospenzustand und stehen in den Achseln von schuppenartigen Niederblättern. Die bogenförmigen Niederblattnarben verleihen ihnen das Aussehen von „Augen“ (siehe Abb. 11, S. 19). [Diepenbrock et al., 1999; Weiler et al., 2008]

Nach außen hin ist die Kartoffelknolle von einem sekundären Abschlussgewebe umgeben. Dieses wird auch Korkgewebe oder Periderm genannt. Es entsteht im Laufe des Wachstums der Knolle und ersetzt die Epidermis. [Weiler et al., 2008] Die nächste Schicht nach innen ist der Gefäßbündelring (siehe Abb. 12), dieser ist ein typisches Merkmal einer Sprossachse. Der Gefäßbündelring kommt beim Längsschnitt der Kartoffel (siehe Abb. 13, S. 21) besser zur Geltung. Im Inneren befindet sich der Markkörper, in dessen Speicherparenchymzellen Stärke gespeichert wird. Hier findet das primäre Dickenwachstum statt. [Nitsch, 2003] Dieses beruht auf Zellteilungen in unmittelbarer Nähe des Apikalmeristems. Apikalmeristeme nehmen grundsätzlich die Spitzen der Wurzeln und Sprossachsen ein. [Weiler et al., 2008]

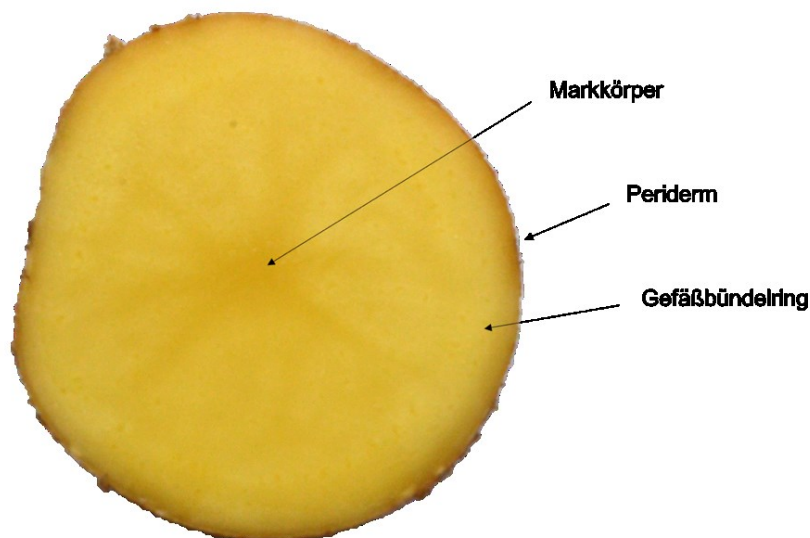


Abbildung 12: Kartoffel, Querschnitt. Foto: C. Bauer, 2018.

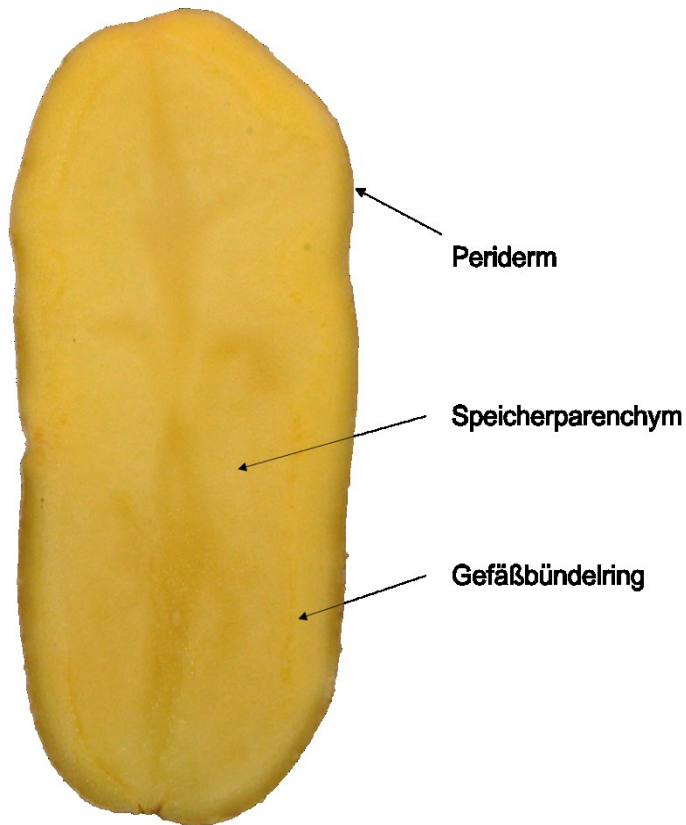


Abbildung 13: Kartoffel, Längsschnitt. Foto: C. Bauer, 2018.

Die Form der Knollen hat sich im Laufe der Züchtung stark verändert. Während die Wildkartoffelarten verschiedenste Formen ausbilden, so sind die heutigen Kultursorten meist rund, oval oder länglich mit glatter Oberfläche. Ein wichtiges Kriterium ist die Eignung zur maschinellen Verarbeitung. Die Farbe der Knollen ist sortenspezifisch bedingt, wobei sich die Farbe des Periderms von der des Speicherparenchyms unterscheiden kann. [Nitsch, 2003]

Die Färbung des Periderms bzw. des Speicherparenchyms kommt durch Antioxidantien wie Anthocyane und Beta-Carotine zustande. Anthocyane sind wasserlösliche Farbstoffe, die in den Vakuolen gespeichert werden. [Weiler et al., 2008] Die farbbestimmenden Anteile der Anthocyane sind die Anthocyanidine. Im Speicherparenchym von roten, blauen und violetten Kartoffeln befinden sich Anthocyanidine wie Pelargonidin, Cyanidin, Delphinidin, Peonidin, Petunidin und Malvidin (siehe Abb. 14. Im Periderm derselben sind hauptsächlich Pelargonidin und Peonidin für die Färbung verantwortlich. Kartoffeln mit gelbem Speicherparenchym beinhalten Carotinoide wie β -Carotin, Zeaxanthin und Lutein. [Lachman et al., 2016]

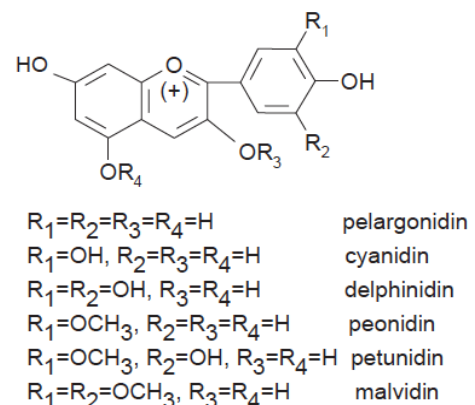


Abbildung 14: Anthocyanidine von Kartoffeln mit rotem, blauen und violetten Speicherparenchym. [Lachman et al., 2016]

Frisch angelegte Knollen befinden sich im Stadium der absoluten Keimruhe. Aus diesem Grund entwickeln sich aus den „Augen“ noch keine Triebe. Von diesem Zeitpunkt an nimmt die Keimruhe mit dem physiologischen Alter der Knollen ab. Die Ausprägung der Keimruhe ist sortenspezifisch unterschiedlich. Manche Sorten altern physiologisch rasch, andere langsamer. [Kolbe und Möller, 2003] Weitere Bedingungen, die das Altern beeinflussen, sind Boden- und Klimabedingungen am Produktionsstandort sowie die Lagerungstemperatur. [Reust, 1986] Bei einer Lagerungstemperatur von 4°C wird die Keimruhe verstärkt. Steigende Temperaturen sowie zunehmender Sauerstoffgehalt verkürzen die Keimruhe. [Diepenbrock et al., 2016]

3.4.4 Wurzeln

Die Kartoffelpflanze bildet ein vielverzweigtes Faserwurzelsystem, welches am Beginn der Wachstumsperiode eher oberflächlich, und später etwas in die Tiefe wächst. [Cutter, 1992] Es besteht aus Basalwurzeln, Stolonenwurzeln und Wurzeln an den Knoten der Stolonen. Die Basalwurzeln bilden sich an der Verbindungsstelle zwischen den sogenannten Augen der Mutterknolle und dem Spross. Außerdem entstehen an den Bildungsstellen der unterirdisch gebildeten Stolonen sowie an den

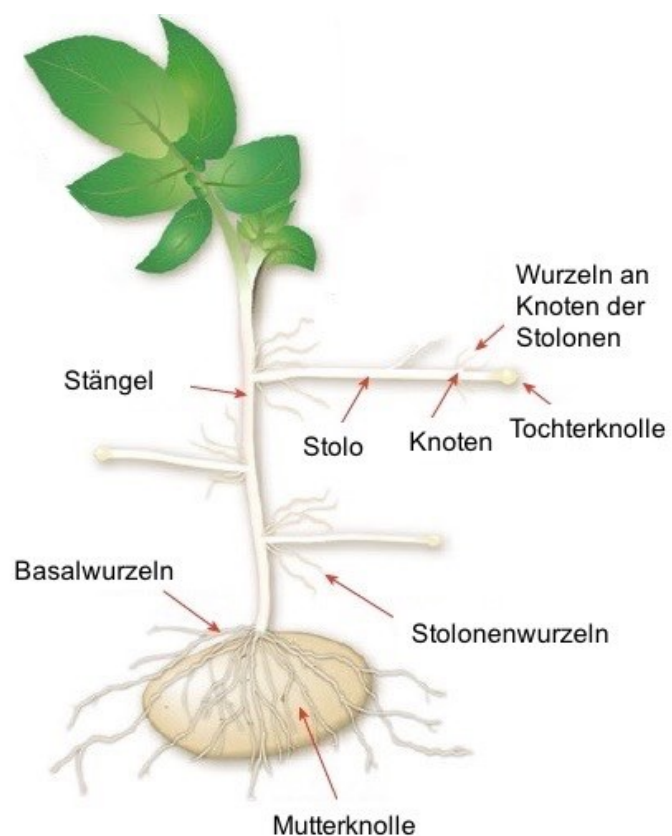


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Kartoffelpflanze, verändert nach Wishart et al. [2013]

Knoten der Stolonen Wurzeln (siehe Abb. 15). [Wishart et al., 2013]

Im Vergleich zu anderen Kulturen wächst das Wurzelsystem der Kartoffel relativ flach. Wasser und Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten können kaum genutzt werden. Für hohe Erträge ist daher eine stetige Versorgung mit Wasser unerlässlich. Generell reagiert die Pflanze sehr stark auf Unregelmäßigkeiten in

der Wasserversorgung. [Iwama, 2008] So führen länger anhaltende Trockenperioden während der Hauptwachstumsphase meist zu hohen Ertragsverlusten durch eine geringere Anzahl und Größe der Knollen. [Nitsch, 2003] Eine mangelnde Wasserversorgung kann auch die Form der Knollen beeinflussen. Es kommt beispielsweise zu Zwiewuchs und Kindelbildung. [Struik, 2007; Diepenbrock et al., 1999]

3.5 Botanische Entwicklungsstadien

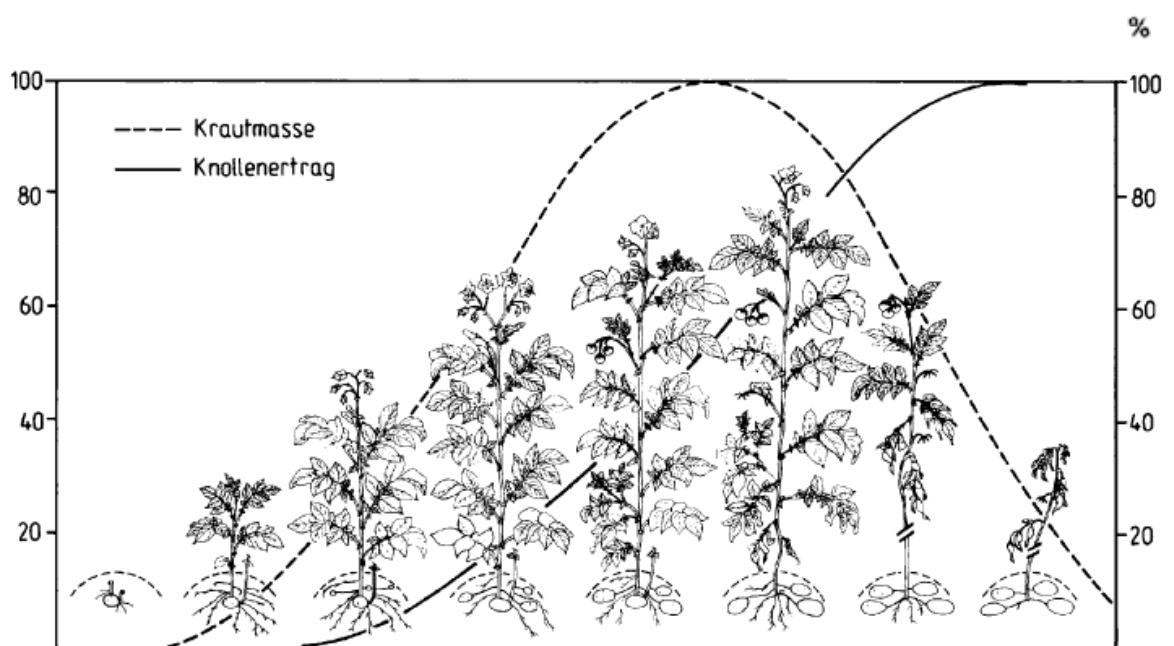


Abbildung 16: Entwicklungsstadien der Kartoffel [Hack et al., 1993]

Der Vegetationsverlauf der Kartoffelpflanze wird von verschiedenen Einflussgrößen bestimmt. Allen voran steht die Genetik. Daneben beeinflussen Umweltbedingungen wie Temperatur und Feuchtigkeit des Bodens den Wachstumsverlauf. [Kolbe und Möller, 2003]

Die unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Kartoffel werden im praktischen Teil ab Seite 48 anhand von Fotos veranschaulicht.

3.5.1 Keimung, Entwicklung und Ausbildung der Wurzeln

Bei der Aussaat befinden sich die Knollen in einer Phase der Keimbereitschaft, sie haben zu diesem Zeitpunkt ein bestimmtes physiologisches Alter erreicht. Der optimale Pflanzzeitpunkt der Knollen ist Anfang bis Mitte April, sofern es die Witterungsbedingungen zulassen. Nicht vorgekeimte Knollen beginnen im Boden ab 8°C zu keimen. Vorgekeimtes Pflanzgut kann sich bereits ab 4°C weiterentwickeln, daher ist es auch möglich, dieses früher auszupflanzen. Die beiden wichtigsten Faktoren während der ersten Phase sind Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit. [Kolbe und Möller, 2003]

Vor dem Sprosswachstums erfolgt die Wurzelbildung (siehe Abb. 16, S. 23). Das Wurzelsystem ist die Voraussetzung für die Nährstoffaufnahme aus dem Boden. Bis zu diesem Zeitpunkt wird die Nährstoffversorgung ausschließlich über die Mutterknolle gewährleistet.

Anschließend beginnt das Sprosswachstum. Das Hypokotyl (Abschnitt zwischen Wurzelhals und Keimblättern) mit den Keimblättern wächst in Richtung Bodenoberfläche. [Weiler et al., 2008] Es bildet Niederblätter, in deren Achseln sich später Stolonen entwickeln. Je höher die Temperatur, desto schneller erfolgt die Entwicklung des Sprosses. Das Hypokotyl ist im Boden besonders anfällig für Erkrankungen, weshalb ein rasches „Auflaufen“ besonders wichtig ist. Das „Auflaufen“ beschreibt den Vorgang, wenn die Sprosse die Bodenoberfläche durchbrechen. Nach dem „Auflaufen“ beginnt die Entwicklung des Blattapparates. Dieser bildet die Voraussetzung für die nächste Phase, die Knollenanlage und die Ertragsbildung. [Kolbe und Möller, 2003; Hack et al., 1993]

3.5.2 Knollenanlage und Ertragsbildung

Die Anlage der ersten Knollen erfolgt sortenspezifisch etwa drei bis sechs Wochen nach dem „Auflaufen“. Meist fällt dieser Zeitpunkt mit der Ausbildung der ersten Blütenknospen zusammen. Innerhalb von etwa zwei Wochen werden nun die Knollen gebildet. Ihre Anzahl hängt einerseits von der Sorte, andererseits von den Umweltbedingungen ab. Für hohe tägliche Zuwächse des Knollenertrages ist ein schneller Aufbau des photosynthetisch aktiven Blattapparates notwendig. [Kolbe und Möller, 2003] Dieser erreicht das Maximum nach der Blüte. Die Masse der

Knollen nimmt dann noch zu, wenn die Gesamtpflanzenmasse bereits wieder abnimmt. [Diepenbrock et al., 1999] Eine frühzeitige Blattvernichtung, etwa durch Krankheiten oder Krautbeseitigung, kann zu einer Reduktion des maximal möglichen Ertrages sowie des Stärkegehaltes der Knollen führen. [Kolbe und Möller, 2003]

3.5.3 Absterben der Pflanze

Äußerlich zeigt sich das Absterben der Pflanze durch das Vergilben der unteren und mittleren Blätter, außerdem werden keine neuen, jungen Blätter mehr gebildet. Später verfärben sich die Blätter zuerst gelb und dann braun. Die Knollen erreichen ihren maximalen Ertrag, Trockenmasse- und Stärkegehalt. Erntereif sind die Kartoffeln, wenn die Stängel der Pflanze trocken werden. [Hack et al., 1993] Das Periderm hat sich zu diesem Zeitpunkt bereits verfestigt – die Knollen sind dadurch besser vor Beschädigungen geschützt. Die Abreife der Knollen kann auch durch eine Beseitigung des Krautes eingeleitet werden. Die Knollen sollten danach noch etwa zwanzig Tage im Boden bleiben. [Kolbe und Möller, 2003] Das Ertragspotential der Kartoffel ist von der genotypisch bedingten Vegetationsdauer abhängig. Frühkartoffeln bringen nach 80 bis 105 Vegetationstagen etwa 40 bis 60 % des Ertrages einer Spätsorte. Diese hat etwa 140 bis 160 Tage Vegetationsdauer. [Diepenbrock et al., 1999]

4 Ernährung physiologische Bedeutung von ausgewählten Inhaltsstoffen

Die Kartoffel zählt neben Mais, Reis und Weizen weltweit zu den wichtigsten Nahrungspflanzen und Kohlenhydratlieferanten. Global gesehen hat sie in westlichen Ländern eine größere Bedeutung als in Entwicklungsländern, auch wenn der Konsum in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen ist. Neben ihres hohen Gehalts an komplexen Kohlenhydraten enthält sie eine Reihe von wertvollen Inhaltsstoffen, die sich in der menschlichen Ernährung besonders positiv auswirken. [Navarre et al., 2016]

4.1 Zusammensetzung der Kartoffel

4.1.1 Energie- und Nährstoffgehalt

Die Kartoffel besteht zu 75 bis 80 % aus Wasser. Kohlenhydrate bilden etwa 15 %, der Großteil davon sind komplexe Kohlenhydrate wie Stärke. Der Rest besteht aus Ballaststoffen, Eiweiß und Mineralstoffen. Der Fettanteil ist mit 0,1 % sehr gering. [Souci et al., 2011]

Mit 0,72 kcal/g gilt die Kartoffel als Lebensmittel mit geringer Energiedichte. Letztere beschreibt den Energiegehalt eines Lebensmittels bezogen auf dessen Gewicht. Verglichen mit anderen stärkehaltigen Gerichten wie gekochten Nudeln oder Reis hat die Kartoffel die geringste Energiedichte (siehe Tab. 3, S. 27). Dies gilt jedoch nur für die gekochte Kartoffel, bei frittierten oder gebackenen Erzeugnissen ist die Energiedichte wesentlich höher (siehe Tab. 3, S. 27). [Wegner et al., 2010]

Lebensmittel	Energiedichte in kcal/g
Kartoffel gekocht ohne Schale	0,72
Kartoffel gebacken mit Schale ohne Öl	0,99
Pommes Frites (5 % Fett)	1,24
Nudeln gekocht	0,94
Reis gekocht	0,84

*Tabelle 3: Energiegehalt von verschiedenen kohlenhydratreichen Gerichten
[Wegner et al., 2010]*

Der Verzehr von gekochten Kartoffeln kann durch ihren hohen Sättigungseffekt zur Reduktion von Übergewicht beitragen. [Leeman et al., 2008] Verantwortlich dafür ist möglicherweise die in Kartoffeln in größeren Mengen enthaltene Aminosäure Leucin. Diese bewirkt über die Insulinsignaltransduktion einen niedrigeren Insulinspiegel und stimuliert die Proteinsynthese. [Layman und Walker, 2006]

Obwohl ein häufiger Konsum von Kartoffeln positiv ist, werden Kartoffelgerichte oft mit zu viel Fett und Salz in Verbindung gebracht. Das resultiert aus der Tatsache, dass Kartoffeln häufig in frittierte Form gegessen werden, vor allem außer Haus. Auch Kartoffelchips sind sehr beliebt und werden häufig konsumiert. Ihr Fettgehalt ist um ein Vielfaches höher als der von gekochten Kartoffeln. Zusätzlich ist die Zugabe von reichlich Salz als negativ zu betrachten. [Camire, 2016]

Die Kartoffel ist ein Lebensmittel mit hoher Nährstoffdichte. Das bedeutet, dass ihr Nährstoffgehalt höher ist als ihr Energiegehalt. Wie in Abbildung 17 (S. 28) ersichtlich, liefert eine 100 g- Portion über 20 % des täglichen Vitamin-C-Bedarfs, aber nur 5 % des Energiebedarfs. Zu den wichtigsten Nährstoffen, die in der Kartoffel enthalten sind, zählen komplexe Kohlenhydrate, hochwertige Proteine, Ballaststoffe, Vitamin C, Thiamin, Niacin, Pyridoxin (Vitamin B₆) und Kalium (siehe Abb. 17, S. 28). [Gibson und Kurilich, 2013; Navarre et al., 2016]

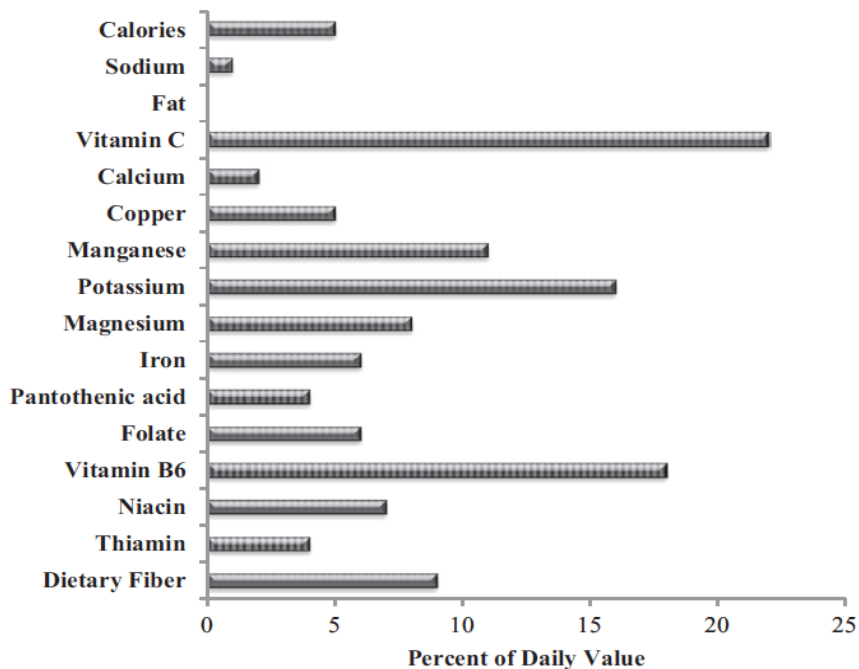


Abbildung 17: Inhaltsstoffe einer 100 g-Portion von Kartoffeln, mit Schale im Ofen gebacken, bezogen auf den durchschnittlichen Tagesbedarf (Energiebedarf 2000 kcal pro Tag) [Navarre et al., 2016]

4.1.2 Kohlenhydrate

Neben Glucose, Fructose und Saccharose macht die Stärke als Speicherkohlenhydrat den größten Anteil der Kohlenhydrate in den Knollen aus. Ihr Gehalt schwankt zwischen 15-20 %. Das Potenzial der Kartoffel, Stärke einzulagern, ist genetisch bedingt und wird unter anderem von Standort und Witterung beeinflusst. [Souci et al., 2011; Bertoft und Blennow, 2016] Der Stärkeanteil ist ein wichtiger Einflussfaktor für den Kochtyp. Festkochende Kartoffeln haben einen geringen, mehlig kochende einen hohen Stärkegehalt. [Wölfel, 2002; Kolbe, 1995]

In der menschlichen Ernährung ist die Stärke die wichtigste Kohlenhydratquelle. Weitere Verwendung findet sie in der Industrie, etwa in der Lebensmittel-, Papier- und Textilindustrie. [Belitz et al., 2008]

4.1.2.1 Stärke

Etwa 60- 80 % der Trockenmasse der Knolle besteht aus Stärke. Stärke ist ein Gemisch aus Amylose und Amylopektin, wobei der Anteil an Amylose in der

Kartoffelstärke ca. 20 % beträgt. Die Stärkekörner werden in den Amyloplasten gebildet. Diese können einfach oder zusammengesetzt sein. Durch den Wechsel von amorphen und kristallinen Bereichen im Stärkekorn ergibt sich eine Schichtung (siehe Abb. 18). Bei den Stärkekörnern der Kartoffel liegt das Bildungszentrum der Schichtung nicht im Mittelpunkt, sondern exzentrisch. Die Form der Stärkekörner ist meist oval. [Storey, 2007; Ek et al., 2012]



Abbildung 18: Exzentrische Schichtung der Stärkekörner [Kück und Wolff, 2009]

Die Struktur der Stärkekörner ist zu 70 % amorph und zu 30 % kristallin. Der amorphe Teil besteht hauptsächlich aus Amylose, im kristallinen Anteil überwiegt Amylopektin. Der Kristallisationsgrad ist abhängig vom Wassergehalt der Stärkekörner. [Belitz et al., 2008]

Die Amylose bildet unverzweigte Ketten aus α -1,4-glykosidisch gebundenen Glucoseeinheiten (siehe Abb. 19, S. 30). Aufgrund der Bindungswinkel der Einheiten bildet sie helicale Strukturen. Die Stabilisierung der Helix erfolgt durch Wasserstoffbrückenbindungen zwischen benachbarten Hydroxygruppen. In die Hohlräume der Helix können verschiedene Moleküle wie Jod, Fettsäuren, Phenole etc. eingeschlossen werden. Bei der Einlagerung von Jod färbt sich die Stärke intensiv blau. Diese Jod-Stärke-Reaktion findet Anwendung beim Nachweis von Stärke mit Lugol'scher Lösung (Jod-Jod-Kalium-Lösung). Amylose löst sich in heißem Wasser kolloid auf. Ein Amylosemolekül der Kartoffel besteht aus ca. 4500 Glucoseeinheiten. Beim Abkühlen neigt die Amylose zur Retrogradation. Damit wird der irreversible Übergang aus einem gelösten, stark gequollenen Zustand in einen unlöslichen, entquollenen Zustand bezeichnet. [Belitz et al., 2008; Habermehl et al., 2008]

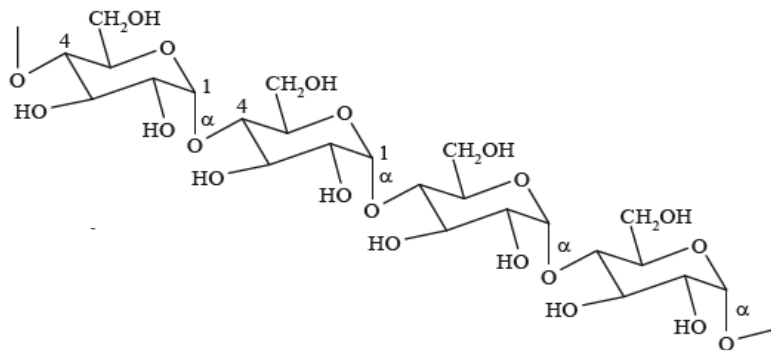


Abbildung 19: Struktur der Amylose mit α -1,4-glykosidisch verknüpften Glucoseeinheiten [Habermehl et al., 2008]

Das Amylopektin ist ein verzweigtes Glucan mit einer α -1,4-glykosidisch gebundenen Hauptkette. Zusätzlich gibt es unregelmäßig verteilte Verzweigungen an jeder 15. bis 30. Glucoseeinheit. An diesen Verzweigungen sind die Einheiten α -1,6-glykosidisch verbunden (siehe Abb. 20). Ein Amylopektinmolekül der Kartoffel kann aus mehr als 6000 Einheiten bestehen. Amylopektin hat ein hohes Wasserbindungs- und Quellvermögen, deshalb wird es in der Lebensmittelindustrie oft als Verdickungsmittel und Stabilisator eingesetzt. [Belitz et al., 2008]

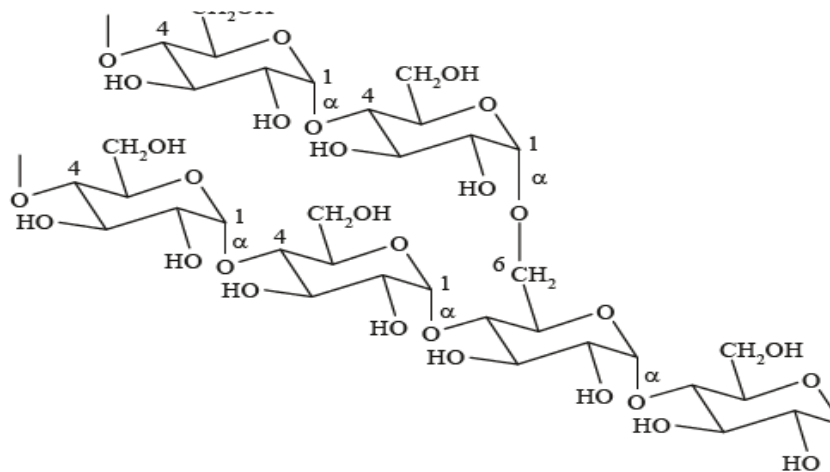


Abbildung 20: Struktur von Amylopektin mit α -1,4- und α -1,6-glykosidisch verknüpften Glucoseeinheiten [Habermehl et al., 2008]

Kartoffeln müssen gekocht werden, damit die Stärke von den menschlichen Verdauungsenzymen aufgespalten und anschließend resorbiert werden kann. In rohem Zustand ist die Kartoffelstärke, im Gegensatz zu Stärke aus Getreide, für den Menschen unverdaulich. Stärke aus Getreide kann durch Mahlen oder Kauen besser verdaulich gemacht werden. Stärke aus rohen Kartoffeln kann nur nach der

Behandlung mit Hitze von den Verdauungsenzymen aufgespalten werden. [Nugent, 2005]

Durch die Hitzeeinwirkung treten im Stärkekorn irreversible Veränderungen auf. Während es Wasser aufnimmt (20-40 g Wasser/g Stärke), diffundiert ein Teil der Amylose aus dem Stärkekorn und liegt nun gelöst vor. Das Stärkekorn platzt und die Stärkekristalle bilden ein Netzwerk aus Polymeren – sie verkleistern [Belitz et al., 2008; Ek et al., 2012] Nun können die humanen Enzyme die Stärke spalten.

Die Verdauung der Stärke beginnt mit der Spaltung durch die α -Amylase Ptyalin im Mund. Ptyalin spaltet bei neutralem pH-Wert Stärke in die Oligosaccharide Maltose, Maltotriose und α -Grenzextrin. Durch das saure Milieu im Magen wird die Amylase deaktiviert. Erst im Duodenum wird das Polysaccharid Stärke durch eine α -Amylase aus dem Pankreassaft weiter aufgespalten. Die nun vorliegenden Oligosaccharide Maltose, Maltotriose und α -Grenzextrin werden weiter hydrolysiert. Dafür sind in die Bürstensaumenzyme Maltase und Isomaltase zuständig. Das Endprodukt Glucose wird schließlich durch einen sekundär-aktiven Na^+ -Transport in die Mucosazelle aufgenommen und passiv durch den Glucose-Uniport-Carrier GLUT2 ins Pfortaderblut abgegeben. [Silbernagl und Despopoulos, 2003]

Ein Teil der Stärke widersteht einer enzymatischen Hydrolyse durch die Amylase im Dünndarm. Diese „resistente Stärke“ (RS) kann jedoch von Bakterien im Dickdarm metabolisiert werden. Daher gilt die resistente Stärke als Ballaststoff. Resistente Stärke wird aufgrund des Verarbeitungsgrades der Lebensmittel, in denen sie vorkommt, in verschiedene Typen eingeteilt. Dazu gehören grob gemahlene Getreide (RS Typ I), native Stärkegranula in Bananen oder rohen Kartoffeln (RS Typ II), retrogradierte Stärke aus gekochten und anschließend erkalteten Kartoffeln (RS Typ III) und Stärke, die bei der Maillard-Reaktion verändert wird (RS Typ IIII). Resistente Stärke Typ III besteht aus unverdaulichen, kristallinen Amyloseeinheiten. [Belitz et al., 2008]

Bei der Metabolisierung der resistenten Stärke durch die Bakterien im Dickdarm entstehen Butyrat, Acetat und Propionat, die Salze der Butter-, Essig- und Propionsäure. Im Vergleich zu anderen komplexen Kohlenhydraten wird bei der Fermentierung der resistenten Stärke besonders viel Butyrat gebildet. Diese kurzkettige Fettsäure spielt eine besonders wichtige Rolle in der Erhaltung der Darmgesundheit. [Zeng et al., 2014] Sie ist ein Grund für die protektive Wirkung von ballaststoffreichen Lebensmitteln auf die Entstehung von Dickdarmkrebs [Watzl und Leitzmann, 1999]. Butyrat ist das bevorzugte Energiesubstrat der Schleimhautzellen des Dickdarms. Es verbessert die Proliferation der Kolonozyten und unterstützt so die ständige Erneuerung des Epithelgewebes. In Tumorzellen stimuliert es den programmierten Zelltod (Apoptose). [Brouns et al., 2002; Hijova und Chmelarova, 2007]

Die protektive Wirkung der resistenten Stärke wird durch die Änderung des pH-Werts verstärkt. Durch die Bildung von kurzkettigen Fettsäuren im Dickdarm kommt es zu einer Senkung des pH-Werts. Ein niedriger pH-Wert im Magen-Darm-Trakt ist notwendig für die Bindung von kanzerogenen Substanzen an Ballaststoffe. Die Bindung eines beim Braten von Fleisch entstehenden Mutagens beispielsweise erfolgt am effektivsten im leicht sauren Bereich. Überdies hemmt ein niedriger pH-Wert die bakterielle Umwandlung von primären in sekundäre Gallensäuren durch das Enzym 7- α -Dehydroxylase. Sekundäre Gallensäuren werden besonders mit der Entstehung von Dickdarmkrebs in Verbindung gebracht. [Bernstein et al., 2005; Barnes et al., 1983; Watzl und Leitzmann, 1999; Leitzmann et al., 2003]

Der Verzehr von Kartoffeln kann sich durch die resistente Stärke einerseits positiv auf die Darmgesundheit auswirken, andererseits trägt er auch zur Deckung des Energiebedarfs mit Kohlenhydraten bei. Es wird empfohlen, mehr als 50 % der täglichen Energiezufuhr mit Kohlenhydraten zu decken. [DGE et al., 2015] Zusätzlich sollten die konsumierten Lebensmittel möglichst viele komplexe Kohlenhydrate und Ballaststoffe enthalten. Derzeit ist die aufgenommene Menge sowohl der Kohlenhydrate insgesamt wie auch die der Ballaststoffe in allen Bevölkerungsgruppen zu niedrig. [Rust et al., 2017] Günstig ist außerdem eine ausgewogenes Verhältnis von unlöslichen, bakteriell wenig abbaubaren

Polysacchariden und löslichen, bakteriell abbaubaren Polysacchariden. Unlösliche Polysaccharide kommen hauptsächlich in Vollkorngetreide vor, lösliche Polysaccharide in Gemüse, Obst und als Stärke in Kartoffeln. [DGE et al., 2015]

4.1.3 Protein

Kartoffeln enthalten nur geringe Mengen an Protein. Der Anteil beträgt ca. 2 g/100 g essbarem Anteil. Die biologische Wertigkeit (BW) des enthaltenen Proteins ist jedoch vergleichsweise hoch. [McGill et al., 2013] Bei der Kartoffel liegt dieser Wert bei 76. Im Vergleich ist der Referenz-Wert für die biologische Wertigkeit von Hühner-Vollei 100. Die biologische Wertigkeit ist eine Methode zur Bestimmung der Proteinqualität von Lebensmitteln. Sie gibt an, in welchem Maß ein Protein oder Proteingemisch zur Synthese von körpereigenem Protein genutzt werden kann. [Elmadfa, 2009]. Bei günstigen Lebensmittelkombinationen kann die biologische Wertigkeit auf über 100 gesteigert werden. So ergibt sich bei einer Kombination von Vollei und Kartoffeln im Verhältnis 3:2 eine BW von 136. [Elmadfa, 2009; Müller, 2005]

Die Proteinqualität wird von der Menge der essentiellen Aminosäuren im Lebensmittel bestimmt. Sie ist umso besser, je mehr körperspezifische Proteine daraus aufgebaut werden können. [Elmadfa, 2009] Im Gegensatz zu anderen pflanzlichen Proteinen weist die Kartoffel einen relativ hohen Gehalt der essentiellen Aminosäure Lysin auf. Sie stellt dadurch einen guten Ersatz für lysinarme Lebensmittel, wie zum Beispiel Getreide, dar. [Waglay und Karboune, 2016] Außerdem wäre es durchaus sinnvoll, Kartoffeln mit Getreide zu kombinieren, um die Proteinqualität zu erhöhen.

Ein weiteres Konzept zur Proteinbewertung ist der PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score). Die Berechnung basiert auf dem Aminosäuregehalt des Proteins, dessen Verdaulichkeit und darauf, wie viele essentielle Aminosäuren das Protein für die menschliche Ernährung liefert. [Müller, 2005] Der maximale PDCAAS beträgt 1, für die Kartoffel ergibt sich ein Wert von 0,62. Das Eiweiß als Referenz hat einen PDCAAS von 1. [Biesalski und Grimm, 2011]

Die Proteinkomponenten des Kartoffelproteins können in verschiedene Gruppen eingeteilt werden. Zum Großteil sind es wasserlösliche Reserveproteine wie etwa das Patatin. Es bildet eine Gruppe von Glykoproteinen und macht etwa 40 % des Kartoffelproteins aus. [Wegner et al., 2010] Neben seiner Funktion als Hauptspeicherprotein konnten bei *in vitro*-Versuchen antioxidative Wirkungen des Patatin nachgewiesen werden. [Liu et al., 2003]

Die zweite Gruppe von Proteinen, die in Kartoffeln vorkommt, sind die Protease-Inhibitoren (PI). Sie machen etwa 30-40 % des Gesamtproteingehalts aus. Proteasen sind Enzyme, die Proteine in Aminosäuren aufspalten. Durch Bindung an die Enzyme hemmen Protease-Inhibitoren deren Aktivität. Somit wird eine Anhaftung des aufzuspaltenden Proteins verhindert. [Watzl und Leitzmann, 1999] Die inhibierende Wirkung der PI wirkt sich vor allem auf die Serin- und Cysteinproteasen aus. Auch Chymotrypsin-Inhibitoren kommen in der Kartoffel vor. In der Pflanze sind die PI an den Abwehrmechanismen gegen Schädlinge und pathogene Mikroorganismen beteiligt. [Wegner et al., 2010] Bestimmten Protease-Inhibitoren wird eine antikanzerogene Wirkung nachgesagt. Diese Wirkung beruht auf verschiedenen Mechanismen. Durch eine Verminderung der Aminosäurenverfügbarkeit etwa soll die Krebsentstehung gehemmt werden. Da die meisten Protease-Inhibitoren im Magen nicht inaktiviert werden, gelangen sie ins Duodenum und verbinden sich dort z.B. mit Chymotrypsin. Dieses wird inaktiviert, die Proteinresorption und die daraus resultierende Verfügbarkeit von Aminosäuren wird vermindert. Weiters wird eine Hemmung von tumorspezifischen Proteasen, die an der Krebsentstehung beteiligt sind, diskutiert. Vor allem die Dickdarmkrebsentstehung kann dabei gehemmt werden. Das geschieht etwa über die Inaktivierung von Proteasen, die bei DNA-Schäden möglicherweise eine fehlerhafte Reparatur verursachen. Auch eine antioxidative Wirkung, vor allem von Chymotrypsin-Inhibitoren, konnte nachgewiesen werden. Verantwortlich dafür sind wahrscheinlich Schwefelatome, die Radikale wie Wasserstoffperoxid binden können. [Friedman, 1992; Watzl und Leitzmann, 1999; Caccialupi et al., 2010]

In der dritten Gruppe des Kartoffelproteins werden alle Proteine zusammengefasst, die nicht in die ersten beiden Gruppen fallen. Dazu gehören

Lectine, Proteinkinasen und hochmolekulare Enzyme. [Pots et al., 1999; Wegner et al., 2010]

4.1.4 Vitamine und Mineralstoffe

Die Kartoffel enthält wichtige wasserlösliche Vitamine, vor allem Vitamin C und Vitamine der B-Gruppe. Von den Mineralstoffen ist Kalium als mengenmäßig wichtigster zu nennen.

4.1.4.1 Vitamin C (Ascorbinsäure)

Vitamin C zählt zur Gruppe der wasserlöslichen Vitamine. Es ist für den Menschen essentiell und muss mit der Nahrung zugeführt werden. Unter dem Begriff Vitamin C werden die L-Ascorbinsäure (siehe Abb. 21) und deren Derivate, die eine identische biologische Wirkung haben, zusammengefasst. [Biesalski und Grimm, 2011]

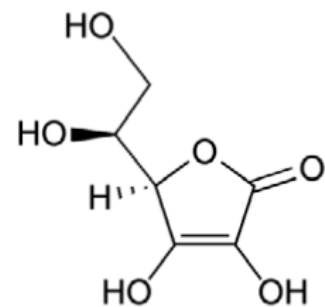


Abbildung 21: Chemische Struktur der L-Ascorbinsäure [Yang et al., 2009]

Die biologischen Wirkungen von Vitamin C gehen hauptsächlich auf seine Eigenschaft als Reduktionsmittel bei intra- und extrazellulären Reaktionen zurück. Die Oxidation von L-Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure verläuft über die Semidehydroascorbinsäure. Diese drei chemischen Formen von Vitamin C bilden ein reversibles Redoxsystem. Durch eine Reduktase kann die oxidierte Form wieder in Ascorbinsäure umgewandelt werden. [Biesalski et al., 1997]

Die Funktion als Katalysator bei der Biosynthese von Kollagen ist eine der wichtigsten biochemischen Funktionen von Vitamin C. Kollagen ist im menschlichen Körper Bestandteil von Haut, Knochen, Zähnen und Knorpeln. Die Ascorbinsäure-abhängige Hydroxylierung von Prolin zu Hydroxyprolin und Lysin zu Hydroxylysin im Bindegewebe bildet einen wichtigen Abschnitt der Kollagenbiosynthese. Des Weiteren spielt die Ascorbinsäure eine Rolle bei der Biosynthese von Neurotransmittern. Sie wirkt mit bei der Hydroxylierung von Dopamin zu Noradrenalin als Cofaktor des Enzyms Dopamin- β -Hydroxylase. Neuroendokrine Hormone wie Gastrin, CRH (Corticotropin-releasing hormone)

und TRH (Thyrotropin-releasing hormone) benötigen für die Amidierung neben Kupfer und Sauerstoff auch L-Ascorbinsäure.

Als starkes Antioxidans fängt Vitamin C freie Radikale und andere reaktive Sauerstoff- und Stickstoffspezies, wie etwa Superoxid und Hydroxylradikale ab. Durch diese Funktion werden etwa Lipide vor oxidativen Schäden geschützt. L-Ascorbinsäure ist auch an der Gallensäuresynthese aus Cholesterol beteiligt und aktiviert Entgiftungsreaktionen in der Leber. Durch die Beteiligung an Hydroxylierungsreaktionen in der Leber werden Xenobiotika wie Arzneimittel inaktiviert. Eine wichtige Aufgabe der L-Ascorbinsäure ist außerdem die Reduktion von pflanzlichem Nahrungseisen Fe^{3+} zu Fe^{2+} . In Folge dessen wird die intestinale Eisenabsorption gefördert. Im Magen hemmt Vitamin C die Nitrosaminbildung aus Nitrat und Aminen. [Biesalski et al., 1997; Moser und Bendich, 1991]

Die Kartoffel ist bekannt für ihren hohen Gehalt an Vitamin C. In der westlichen Ernährung zählt die Kartoffel aufgrund der konsumierten Menge neben Gemüse und Obst zu den wichtigsten Quellen dieses Vitamins. [Biesalski und Grimm, 2011] 100 g mit „Schale“ gekochte Kartoffeln enthalten 13 mg Ascorbinsäure [USDA, 2018]. Das bedeutet, dass eine Portion von 200 g Kartoffeln bereits ein Viertel des Tagesbedarfs an Vitamin C deckt. Der Tagesbedarf für Erwachsene liegt bei 95 mg für Frauen und 110 mg für Männer. In Kombination mit einer ausgewogenen Ernährung, die sich an den Empfehlungen einer vollwertigen Ernährung orientiert, kann so eine angemessene Versorgung mit Vitamin C sichergestellt werden. Neben dem Verzehr von Obst und Gemüse trägt auch der Einsatz von Ascorbinsäure als Zusatzstoff in vielen verarbeiteten Lebensmitteln, z.B. Wurstwaren, zur Versorgung bei. [DGE et al., 2015]

Der Vitamin-C-Gehalt in Kartoffeln kann durch verschiedene Faktoren Verluste erfahren. Bei der Lagerung bis zum Frühjahr kann es zu einem Vitaminabbau von bis zu 70 % kommen. [Belitz et al., 2008] Auch durch die küchentechnische Zubereitung der Kartoffeln kann es zu Vitaminverlusten kommen. Hier sind drei Größen ausschlaggebend: Temperatur, Auslaugen durch Wasser und Oxidation. Es sollten Garmethoden bevorzugt werden, bei denen die Knollen ungeschält, nicht zerkleinert, in wenig Wasser bzw. über Dampf, in angemessener Zeit und bei

nicht zu hoher Temperatur gegart werden. Sehr hoch ist der Vitamin-C-Verlust grundsätzlich beim Frittieren und bei der Zubereitung von Kartoffelpüree. [Love und Pavek, 2008]

4.1.4.2 Vitamin B₁ (Thiamin)

Vitamin B₁ zählt ebenso wie Vitamin C zu den wasserlöslichen Vitaminen. In der Natur kommt Thiamin meist in phosphorylierter Form vor. Die biologisch aktive Form ist Thiamindiphosphat (TDP, siehe Abb. 22), sie wird auch als Thiaminpyrophosphat bezeichnet. TDP hat im Organismus wichtige Funktionen in Zusammenhang mit dem Energiestoffwechsel und mit dem Nervensystem. [DGE et al., 2015; Silbernagl und Despopoulos, 2003]

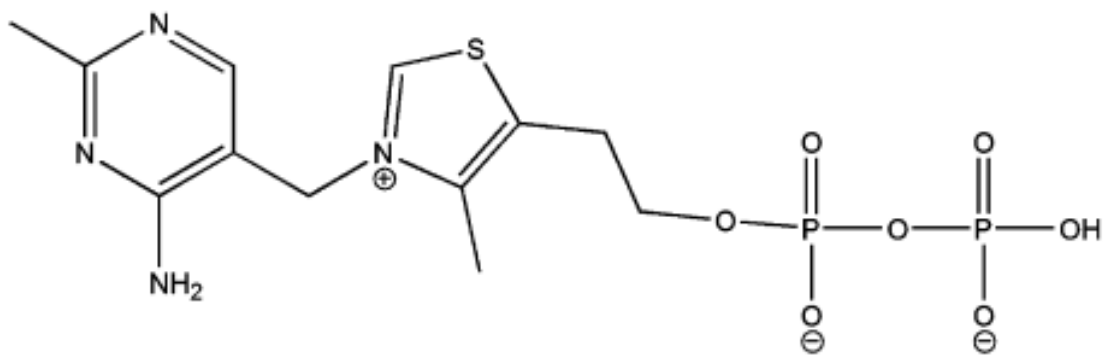


Abbildung 22: Chemische Struktur des Thiamindiphosphat [Manzetti et al., 2014]

Im Kohlenhydratstoffwechsel fungiert Thiamindiphosphat als Coenzym. Es ist an Reaktionen der Enzyme Transketolase, Pyruvatdehydrogenase und α -Ketoglutaratdehydrogenase beteiligt. Die Transketolase katalysiert im Pentosephosphatzyklus die reversible Übertragung eines C2-Fragments. Dadurch können aus verschiedenen Aldosen Ketosen entstehen. Die Pyruvatdehydrogenase schleust Pyruvat in Form von Acetyl-Coenzym A in den Citratzyklus ein. Die α -Ketoglutaratdehydrogenase spielt eine Rolle bei der Bildung von Succinyl-Coenzym A. Thiamindiphosphat besitzt somit eine entscheidende Funktion bei der Energiegewinnung des Organismus. [Biesalski und Grimm, 2011; Bender, 2003]

Thiamin ist in Form von Thiamintriphosphat (TTP) an neurophysiologischen Mechanismen beteiligt. TTP wird in den Organen Gehirn, Leber, Niere und Herz aus TDP mithilfe des Enzyms Phosphoryltransferase gebildet. Thiamintriphosphat ist beteiligt am Chlorid-Ionen-Transport in zentralen und peripheren Nerven, indem es Chlorid-Ionen-Kanäle aktiviert. Weiters ist TTP mit einem Natrium-Transportprotein verbunden und beeinflusst so die Reizweiterleitung. [Stahl und Hesecker, 2008]

Der Thiaminbedarf des Erwachsenen beträgt 1-1,2 mg/Tag. [DGE et al., 2015] Aufgrund der Schlüsselrolle von Thiamin im Kohlenhydratstoffwechsel steigt der Bedarf mit der Kohlenhydratzufuhr. Sehr gute Quellen für Vitamin B₁ sind Vollkornbrot und Kartoffeln. [Belitz et al., 2008] Bei gemischter Kost stammt etwa die Hälfte des aufgenommenen Thiamins aus tierischen Produkten wie Rind- und Schweinefleisch. Besonders zu beachten ist die Hitze- und Oxidationsempfindlichkeit des Vitamins. Bei der Zubereitung können Verluste von bis zu 30 % auftreten. [Biesalski und Grimm, 2011]

4.1.4.3 Niacin

Niacin ist ein Sammelbegriff für Nicotinsäure (Pyridin-3-Carbonsäure) und Nicotinsäureamid (Pyridin-3-Carboxamid) (siehe Abb. 23). Beide sind wasserlösliche Verbindungen innerhalb der Gruppe der B-Vitamine. Sie sind in ihrer biologischen Wirksamkeit gleichwertig und können im Organismus ineinander überführt werden. Sowohl Nicotinsäure (NS) als auch Nicotinamid (NA) sind die Vorstufen für die metabolisch wirksamen Coenzymformen Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid (NAD) und Nicotinamid-Adenin-Dinucleotidphosphat (NADP). Der Körper verfügt über drei NAD-Synthesewege. Einerseits baut er NAD über Nicotinsäure oder Nicotinsäureamid auf, welche mit der Nahrung zugeführt werden. Andererseits wird es in der Leber aus der essentiellen Aminosäure Tryptophan synthetisiert. Aufgrund dieses Mechanismus wird

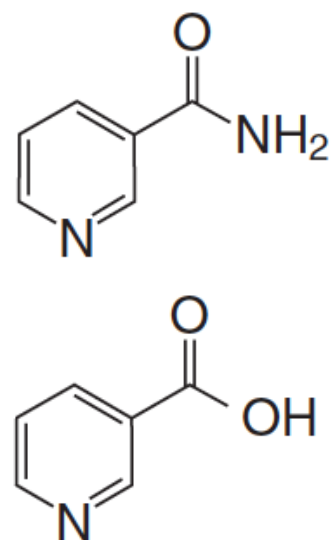


Abbildung 23: Chemische Struktur von Nicotinsäureamid (oben) und Nicotinsäure [Penberthy und Kirkland, 2012]

Niacin nicht als Vitamin bezeichnet. Die Zufuhrsempfehlungen werden in Niacin-Äquivalenten pro Tag angegeben. 1 mg Niacin-Äquivalente entsprechen 1 mg Niacin oder 60 mg Tryptophan. Die Synthese erfolgt jedoch nur, wenn ein großer Überschuss vorhanden ist. Ist Tryptophan die limitierende Aminosäure oder gerade ausreichend vorhanden, so wird es ausschließlich für die Proteinsynthese genutzt. [Biesalski und Grimm, 2011; DGE et al., 2015]

Niacin ist in Form der Coenzyme NAD und NADP in allen Zellen des Organismus von Bedeutung. NAD ist an Redoxreaktionen und verschiedensten biologischen Prozessen beteiligt, einschließlich solcher zum Energiegewinn wie der Glykolyse im Citratzyklus und der mitochondrialen Atmungskette. Es wirkt hauptsächlich bei katabolen Stoffwechselwegen, während NADP bei anabolen Reaktionen wie der Fettsäure- und Cholesterinsynthese und im Pentosephosphatweg eine Rolle spielt. Beide fungieren als Wasserstoffakzeptoren bzw. –donatoren. NAD ist auch an Nicht-Redoxreaktionen beteiligt. Dazu zählen etwa die Regulation des Golgi-Apparates, die DNA-Replikation und –Reparatur und die Kontrolle bzw. Ausschüttung intrazellulärer Calciumspeicher für die Signaltransduktion. [Bogan und Brenner, 2008; Belenky et al., 2007]

Die empfohlene Zufuhr für Niacin liegt bei 11 bzw. 15 mg Äquivalenten pro Tag für erwachsene Frauen bzw. Männer. Kartoffeln enthalten pro 100 g essbarem Anteil 1,2 mg Nicotinamid, sie stellen somit eine gute Niacinquelle dar. Gegenüber Hitze ist Niacin sehr stabil, jedoch ist es sehr gut wasserlöslich. [DGE et al., 2015; Souci et al., 2011] Es ist daher zu empfehlen, die Kartoffeln zu dämpfen und somit einen Verlust durch Wegschütten des Kochwassers zu vermeiden.

4.1.4.4 Vitamin B₆ (Pyridoxin)

Die Bezeichnung Vitamin B₆ umfasst eine Gruppe von sechs vitamin-wirksamen 3-Hydroxy-2-Methylpyridinen. Dazu gehören die alkoholische Form Pyridoxin, die Aldehyd-Form Pyridoxal und das Amin als Pyridoxamin. Die phosphorylierten Metabolite dazu sind Pyridoxin-5-Phosphat (PNP), Pyridoxal-5-Phosphat (PLP) und Pyridoxamin-5-Phosphat (PMP). [Biesalski und Grimm, 2011] Pyridoxal-5-

Phosphat (siehe Abb. 24) ist die aktivste Form und oft als Cofaktor an enzymatischen Reaktionen beteiligt, speziell im Aminosäurestoffwechsel.

[Mooney und Hellmann, 2010]

Besonders wichtig ist die Rolle im Homocysteinestoffwechsel.

Dort fungiert es beim Umbau zu Cystein als Coenzym der

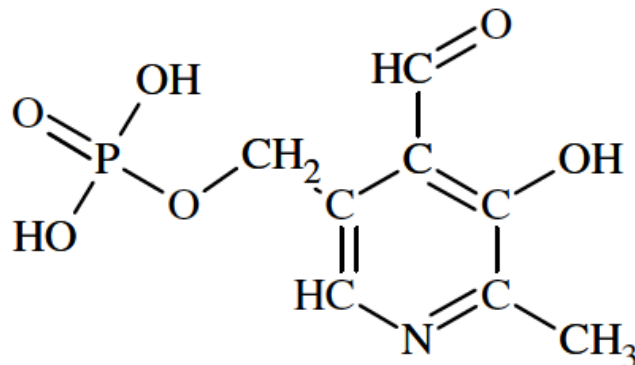


Abbildung 24: Chemische Struktur von Pyridoxal-5-Phosphat [Mooney und Hellmann, 2010]

Cystathioninsynthase. PLP ist auch Teil der zur Metabolisierung von Muskelglykogen notwendigen Glykogenphosphorylase. Pyridoxin, Pyridoxal oder Pyridoxamin werden mit der Nahrung aufgenommen und im Dünndarm resorbiert. Sie gelangen über das Blut zur Leber oder in periphere Gewebe. Dort erfolgt schließlich die Phosphorylierung durch die PL-Kinase. PNP wird durch eine Oxidase in die biologisch aktive Form PLP umgewandelt. PLP und PMP können reversibel ineinander überführt werden. [Biesalski und Grimm, 2011]

Vitamin B₆ spielt möglicherweise eine Rolle bei der Entstehung der koronaren Herzkrankheit und Hypertonie. Vermutet wird ein Zusammenhang mit dem Homocysteinestoffwechsel, bei dem PLP als Coenzym beteiligt ist (siehe oben). Hohe Homocysteinwerte stehen in Verbindung mit Arteriosklerose, welche einen Risikofaktor für die koronare Herzerkrankung darstellt. [Mooney und Hellmann, 2010] Der günstige Effekt für Hypertonie ergibt sich aus der Wechselwirkung mit Aldehyden im Blut. PLP wirkt als Puffer für die nachteiligen Effekte der Aldehyde. Diese binden sich an Membran-Proteine und aktivieren Ca⁺-Kanäle in der

Zellmembran, wodurch die Konzentration an freien Calcium-Ionen im Cytosol ansteigt. In Folge kommt es zu erhöhtem Blutdruck. [Gloria et al., 1997]

Die Bioverfügbarkeit von Vitamin B₆ aus pflanzlichen Lebensmitteln ist sehr unterschiedlich. Grundsätzlich gelten Kohl, Linsen, Feldsalat und Kartoffeln als gute Quellen. Auch Vollkornprodukte, Weizenkeime und Sojabohnen enthalten Vitamin B₆. Das in Pflanzen primär enthaltene Pyridoxin ist relativ stabil gegenüber Hitze. Bei der Zubereitung kommt es kaum zu Verlusten. Anders verhalten sich die phosphorylierten Formen aus tierischen Produkten. Diese sind sehr UV- und hitzelabil, bei der Lagerung von Milch in Glasflaschen oder beim Braten von Fleisch kommt es dadurch zu Vitaminverlusten. [DGE et al., 2015]

Die Kartoffel stellt mit einem Gehalt von 0,3 mg/100 g eine optimale Quelle für Pyridoxin dar. Durch die Hitzestabilität kommt es auch bei der Zubereitung nur zu geringen Verlusten. [Navarre et al., 2016; Souci et al., 2011] Der Bedarf an Vitamin B₆ liegt bei Erwachsenen im Bereich von 1,2- 1,5 mg/Tag. Wegen der zentralen Rolle im Aminosäurestoffwechsel ist der Bedarf vom Proteinumsatz abhängig. Schwangere und Stillende haben einen erhöhten Bedarf von 1,9 mg/Tag. [DGE et al., 2015]

4.1.4.5 Kalium

Kalium ist der mengenmäßig wichtigste Mineralstoff im Intrazellulärraum. 98 % der Kalium-Ionen befinden sich in den Zellen, 2 % außerhalb. Der Kaliumbestand des Körpers hängt von der Lean Body Mass ab und beträgt bei Frauen ca. 100 g, bei Männern ca. 150 g. [Biesalski und Grimm, 2011] In der Skelettmuskulatur befinden sich etwa 80 % des gesamten Kaliumbestandes. Der Rest verteilt sich auf Knochen, Leber und Erythrozyten. [Cheng et al., 2013]

Die extrazelluläre Kaliumkonzentration beträgt etwa 3,5-4,8 mmol/l. In den Zellen beträgt die Konzentration mehr als das 30-fache, nämlich ca. 150 mmol/l. Aufgrund dieses Konzentrationsunterschiedes kann es bei Änderungen des intrazellulären Kaliums durch Aus- oder Einstrom zu enormen Schwankungen der Kalium-Plasmakonzentration kommen. Als Folge können zum Beispiel

Herzrhythmusstörungen auftreten. Die Regelung der Kaliumhomöostase ist deshalb von großer Bedeutung. Sie wird über zwei Mechanismen gewährleistet. Kurzfristig geschieht die Regulation über die Verteilung zwischen Intrazellulärraum (IZR) und Extrazellulärraum (EZR). Die chronische Regulation der Kaliumbilanz im Körper erfolgt über die Niere. [Silbernagl und Despopoulos, 2003]

Die Verschiebung der K^+ -Ionen zwischen IZR und EZR erfolgt relativ rasch und verhindert eine Hyperkaliämie in der Extrazellulärflüssigkeit (EZF). Ursachen für zu viel Kalium im Plasma können die Zufuhr von größeren Mengen mit der Nahrung sein oder eine interne Freisetzung von K^+ , zum Beispiel durch eine plötzliche Hämolyse (Auflösung der Erythrozyten). Der Vorgang wird größtenteils hormonell geregelt. Nach dem Essen stimuliert das sezernierte Insulin die Na^+ - K^+ -ATPase, ein Transmembranprotein, und das aufgenommene K^+ wird in die Zellen geschleust. Adrenalin erhöht die zelluläre K^+ -Aufnahme ebenso wie Insulin. Wenn durch körperliche Arbeit oder Trauma vermehrt K^+ ins Plasma gerät, führt der erhöhte Adrenalin Spiegel zu einer Wiederaufnahme des Kalium in die Zellen. Neben der hormonellen Regulation wird die K^+ -Verteilung zwischen IZR und EZR auch durch den pH-Wert beeinflusst. Bei einer Alkalose läuft der Na^+/H^+ -Antiporter schneller, bei einer Azidose langsamer. Somit sinkt bei einer Azidose der Na^+ -Einstrom in die Zellen, die Na^+ - K^+ -ATPase verläuft langsamer und die Kaliumkonzentration im Plasma steigt. [Silbernagl und Despopoulos, 2003]

Die langfristige Regulation der Kaliumbilanz des Körpers nach außen erfolgt über die Niere. Die Kaliumausscheidung wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Bei erhöhter K^+ -Aufnahme steigt die Konzentration in Plasma und Zelle. In Folge steigt die chemische Triebkraft für die K^+ -Sekretion durch die Niere. Bei einer akuten Azidose sinkt die intrazelluläre K^+ -Konzentration. Das betrifft auch die Nierenzellen und somit wird auch die K^+ -Ausscheidung gesenkt. Durch Ausschüttung von Aldosteron kommt es zu einer Retention von Na^+ durch die Niere und einem Anstieg des Extrazellulärvolumens. Die K^+ -Ausscheidung steigt. Aldosteron wird ausgeschüttet bei einer Verminderung von Blutdruck und –volumen, bei Na^+ -Mangel in der EZF und bei Hyperkaliämie. Die wesentliche

Aufgabe des Mineralcorticoids Aldosteron ist die Steuerung des Na⁺- und K⁺-Transportes in Niere, Darm und anderen Organe. [Kamel et al., 2018; Feigenspan, 2017a; Silbernagel und Despopoulos, 2003]

Als wichtigster Elektrolyt in der IZF wird Kalium für die Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks, des Säure-Basen-Haushalts und der Elektrolythomöostase benötigt. Für den Aufbau des Membranpotentials sorgen die Na⁺-K⁺-ATPase sowie K⁺-Kanäle in der Zellmembran. Durch die Na⁺-K⁺-ATPase werden jeweils 3 Na⁺-Ionen nach außen und 2 K⁺-Ionen nach innen befördert. Dadurch kommt es insgesamt zu einem Überschuss an positiven Ladungen an der Außenseite, es entsteht eine Spannung an der Zellmembran. Das Membranpotential kann durch Reizeinwirkung verändert werden, es kommt zum Aufbau eines Aktionspotentials. Dieses ist unentbehrlich für die Weiterleitung von Nervenimpulsen und somit für Muskelkontraktion, Herzfunktion und die Regulation des Blutdrucks. [Pohl et al., 2013; Feigenspan, 2017b]

Eine kaliumreiche Ernährung spielt vor allem in Zusammenhang mit Bluthochdruck eine bedeutende Rolle. Es besteht eine hohe Evidenz, dass eine erhöhte Kaliumzufuhr bei Hypertonie blutdrucksenkend wirkt. In Kombination mit einer reduzierten Natriumaufnahme von weniger als 2 g/ Tag ergeben sich positive Effekte auf die Gesundheit. [Aburto et al., 2013] Da Hypertonie zu den wichtigsten Risikofaktoren für das Auftreten von kardivaskulären Krankheiten zählt, kommt es indirekt auch zu einer Risikoverringerung für Schlaganfälle um 24 %. [Aburto et al., 2013; Whelton, 2014]

Kartoffeln sind eine sehr gute Quelle für Kalium in unserer Ernährung, da sie ein geringes Na-/K-Verhältnis haben. [McGill et al., 2013] Der Kaliumgehalt von Kartoffeln beträgt 417 mg/ 100 g essbarem Anteil, der Natriumgehalt hingegen liegt nur bei 2,7 mg/ 100 g. [Souci et al., 2011] Laut Österreichischem Ernährungsbericht wird der Schätzwert für Kalium von 4000 mg pro Tag von Männern und Frauen nicht erreicht. Gleichzeitig liegt die Zufuhr von Natrium, dessen Hauptquelle das Kochsalz darstellt, in allen Altersgruppen und beiden Geschlechtern deutlich über dem Schätzwert einer angemessenen Zufuhr von

1500 mg pro Tag. [Rust et al., 2017] Somit könnte der Verzehr von Kartoffeln einen positiven Beitrag zu einer Erhöhung der Kalium- und einer Verringerung der Natrium-Zufuhr leisten. Voraussetzung dafür ist jedoch eine salzarme Zubereitung der Speisen.

4.1.5 Sekundäre Pflanzenstoffe

4.1.5.1 Glykoalkaloide

Glykoalkaloide sind typische Sekundärstoffe in der Familie der Nachtschattengewächse (*Solanaceae*). Sie bestehen aus einem Aglykon (Nicht-Zuckeranteil) mit Steroidstruktur und einer Kohlenhydratkomponente. Die beiden wichtigsten Glykoalkaloide in Kartoffeln sind α -Solanin (siehe Abb. 25, S. 45) und α -Chaconin. Sie bestehen beide aus dem gleichen Aglykon und jeweils unterschiedlichen Trisaccharid-Seitenketten (siehe Tab. 4). Die Kartoffel-Alkaloide sind in allen Pflanzenteilen enthalten, besonders hoch ist der Gehalt in den Keimlingen, Blättern und Früchten. Die physiologische Wirkung der Glykoalkaloide ist die Abwehr von Schädlingen und Krankheitserregern. Durch den bitteren Geschmack schützen sie vor Fraßfeinden und hemmen außerdem das Wachstum von Bakterien und Schimmelpilzen. [Weiß, 2007] Der Solaningehalt in der Knolle ist ungleich verteilt. Unter dem Periderm im Bereich von 1 mm ist die Konzentration am höchsten, sie nimmt nach innen ab. Auch im Bereich der Sprossanlagen und an „grünen Stellen“ ist der Gehalt erhöht. [Friedman et al., 2003]

Glykoalkaloid	Aglykon	Kohlenhydratkomponente
α -Solanin	Solanidin	Galaktose, Glukose, Rhamnose
α -Chaconin	Solanidin	Glukose, Rhamnose, Rhamnose

Tabelle 4: Zusammensetzung der wichtigsten Glykoalkaloide in Kartoffeln [Weiß, 2007]

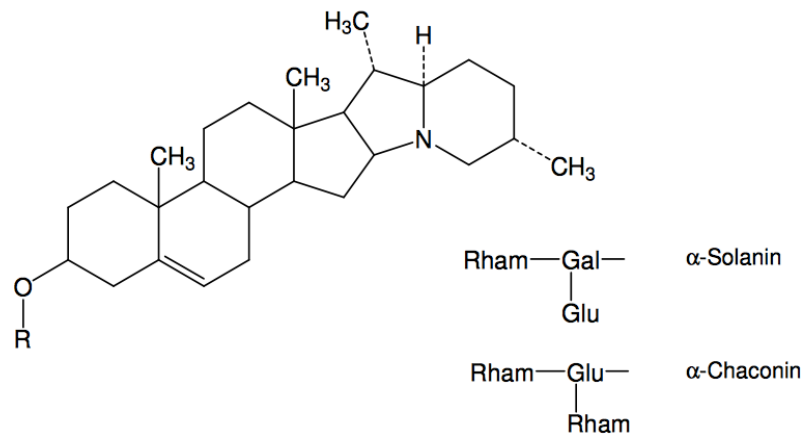


Abbildung 25: Chemische Struktur des Aglykon Solanidin und den unterschiedlichen Kohlenhydratkomponenten [Murkovich, o.J.]

Der Gehalt an Glykoalkaloiden variiert je nach Sorte, grundsätzlich liegt der Wert bei 0,2 bis 6 mg pro 100 g Frischmasse. [Nitsch, 2003] Durch ungünstige Bedingungen am Feld und während der Lagerung kann es zu einer erhöhten Glykoalkaloidsynthese in der Knolle kommen. Dazu zählen etwa ein Schädlingsbefall der Kartoffelpflanze, mechanische Beschädigung der Knollen und Lichtexposition. Diese führt zu erhöhter Chlorophyllsynthese und zeigt sich in grün gefärbten Stellen im Bereich des Periderms (siehe Abb. 26). [Friedman, 2004]



Abbildung 26: Grüne Färbung der Knollen. Links: Außenansicht, rechts: Querschnitt, deutlich erkennbare Grünfärbung des Speicherparenchyms in unmittelbarer Umgebung des Periderms. Fotos: C. Bauer, 2018.

Mit zunehmender Ergrünung steigt der Solaningehalt der Knollen. Bedenklich sind Werte ab 30 mg/ 100 g. [Nitsch, 2003] Ab einem Gehalt von etwa 14 mg/ 100 g Frischmasse ist beim Verzehr ein bitterer Geschmack wahrnehmbar. Ab 22 mg/ 100 g ist ein leichtes Brennen in Mund und Rachen zu spüren und erste Vergiftungssymptomen treten auf. [Friedman, 2006]

Zu Intoxikationen durch Glykoalkaloide kommt trotz des hohen Verzehrs von Kartoffeln relativ selten. [Barceloux, 2009] Grund dafür ist der bittere Geschmack der Knollen bei höheren Konzentrationen. Geringen Dosen verursachen hauptsächlich gastrointestinalen Störungen wie Diarrhoe, Erbrechen und abdominalen Schmerzen. Höhere Dosen können Symptome wie Fieber, erhöhten Puls, niedrigen Blutdruck und neuronale Störungen hervorrufen. [Rayburn et al., 1994]

Durch die Hitzebeständigkeit der Glykoalkaloide kommt es beim Kochen der Kartoffeln kaum zu einer Senkung ihres Gehalts. Jedoch kann durch das Schälen der Kartoffeln vor dem Kochen der Gehalt an α -Solanin und α -Chaconin um 50- 95 % gesenkt werden. [Tajner-Czopek, 2008]

4.1.5.2 Carotinoide

Kartoffeln enthalten neben vielen wasserlöslichen Verbindungen auch fettlösliche Inhaltsstoffe wie Carotinoide. Diese sind für die gelbe Färbung des Speicherparenchmys vieler Sorten verantwortlich. [Brown et al., 1993]

Carotinoide sind Tetraterpene und werden aus acht Isopren-Einheiten aufgebaut (siehe Abb. 27). Durch die langen Kohlenwasserstoffketten mit vielen konjugierten Doppelbindungen ergeben sich die charakteristische Fettlöslichkeit und Farbe. [Fraser und Bramley, 2004] In Kartoffeln sind hauptsächlich die Carotinoide Zeaxanthin, Lutein und β -Carotin enthalten. β -Carotin stellt dabei mit 5,2 $\mu\text{g}/100\text{g}$ den mengenmäßig größten Anteil dar, weshalb hier ausschließlich Erläuterungen zu diesem Carotinoid folgen. [Souci et al., 2011]

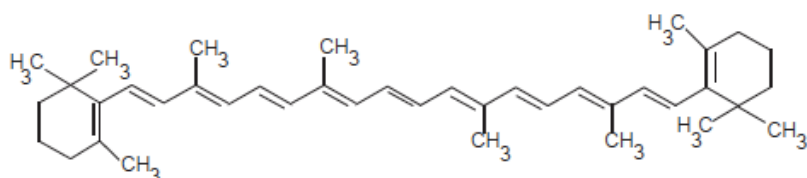


Abbildung 27: Chemische Struktur von β -Carotin [Lachman et al., 2016]

Physiologisch gesehen hat β -Carotin zwei Hauptaufgaben im menschlichen Körper. Es fungiert als Vorstufe für Vitamin A (Retinol) und hat eine antioxidative Wirkung. Nach der Resorption im Dünndarm wird es in der Mukosazelle enzymatisch zu 2 Molekülen Retinal gespalten. Je besser der Organismus mit

Vitamin A versorgt ist, umso geringer ist die Aktivität des Enzyms und folglich die Spaltung von β -Carotin. Retinal ist ein unverzichtbarer Bestandteil des Sehvorgangs. [Fraser und Bramley, 2004]

Die antioxidative Wirkung von β -Carotin spielt besonders in der Haut eine wichtige Rolle. Dort entsteht durch UV-Strahlung der aktive Singulett-Sauerstoff. Dieser besitzt eine extrem hohe Reaktionsfähigkeit und kann essentielle Zellbestandteile schädigen. β -Carotin kann das Sauerstoffradikal durch „quenchen“ inaktivieren. Neben UV-Strahlung wird die Radikalbildung z.B. auch von exogen zugeführten toxischen Substanzen, bestimmten Schwefelverbindungen und enzymatischen Reaktionen begünstigt. [Biesalski und Grimm, 2011] Experimente mit in-vitro-Zellkulturen konnten zeigen, dass Carotinoide die Zellproliferation hemmen und antikanzerogen wirken. [Collins, 2001]

4.1.5.3 Anthocyane

Neben den fettlöslichen Carotinoiden kommen in Kartoffeln auch wasserlösliche Anthocyane vor. Sie färben das Speicherparenchym und das Periderm rot, blau, bzw. violett. Genaueres dazu auf Seite 21.

Auch sie können durch ihre antikanzerogenen, antioxidativen und entzündungshemmenden Eigenschaften eine positive Wirkung auf die Gesundheit haben. Außerdem senken sie möglicherweise die Häufigkeit von kardiovaskulären Erkrankungen und Atherosklerose. [Brown et al., 2003; Kaspar et al., 2011] Zusätzlich zu den positiven Auswirkungen im Körper sind violette Kartoffeln ein optisches Highlight.

5 Dokumentation des Wachstums und Charakterisierung ausgewählter Kartoffelsorten

Die Pflanzung der Kartoffeln fand witterungsbedingt an zwei unterschiedlichen Tagen im Abstand von zwei Wochen statt. Am 11.4.2017 wurde die Sorte 'Anuschka' gelegt, am 25.4.2017 die Sorten 'Ditta' und 'Agria'. Aufgrund der verschiedenen Pflanzzeitpunkte können in der Entwicklung der Pflanzen deutliche Unterschiede festgestellt werden.

5.1 Erste Dokumentation am 21.6.2017

Die Dokumentation des Wachstums beginnt am 21.6.2017, etwa zwei bzw. zweieinhalb Monate nach der Pflanzung. Zu diesem Zeitpunkt sind die oberirdischen Teile der Pflanzen schon entwickelt. Auch die Knollenanlage hat bei allen drei Sorten bereits stattgefunden.

Die Sorte 'Anuschka', eine sehr frühe Sorte, ist am Ende der Blüte (siehe Abb. 28). Die Knollen haben eine Größe von bis zu 5 cm erreicht (siehe Abb. 29). Außerdem ist eine Gelbfärbung der unteren Blätter zu erkennen. Das sind erste Anzeichen für ein Absterben der Pflanze. [Hack et al., 1993] Die Pflanzen befinden sich nach etwa 70 Tagen im letzten Drittel ihrer Vegetationsperiode.



Abbildung 29: Sorte 'Anuschka' am Ende der Blüte.
Foto: C. Bauer, 2017.

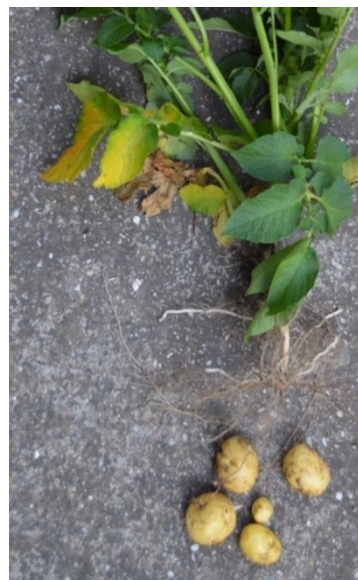


Abbildung 28: Sorte 'Anuschka',
Pflanze mit Knollen. Foto: C.
Bauer, 2017.

Die Sorte 'Ditta', eine Sorte mit mittelfrüher Reife, befindet sich etwa zwei Monate nach der Pflanzung noch in der Entwicklung der Blütenanlagen, die Knospen sind bereits sichtbar (siehe Abb. 30). Die Knollenanlage ist in der Anfangsphase, kleine Knollen sind schon vorhanden. Die Bildung der Knollen durch eine Verdickung der Stolonen ist in Abbildung 31 sehr gut zu erkennen. Ein Bestandesschluss, der für eine Beschattung der Reihen sorgt und den Unkrautwuchs unterdrückt, ist zu diesem Zeitpunkt nicht gegeben, denn die Pflanzen benachbarter Reihen berühren sich noch nicht (siehe Abb. 32).



Abbildung 30: Pflanze der Sorte 'Ditta' mit Knospen.
Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 31: Stolonen und Knollen der Sorte 'Ditta'.
Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 32: Kartoffelbestand: der Reihenschluss hat noch nicht stattgefunden. Foto: C. Bauer, 2017.

Die Sorte 'Agrida' hat einen mittelspäten Reifegrad. Zum Zeitpunkt der ersten Dokumentation steht der Bestand in der Blüte (siehe Abb. 33). Die Entwicklung der Knollen hat bereits begonnen (Abb. 34), die Knollen sind ähnlich groß wie bei der Sorte 'Ditta'.



Abbildung 33: Sorte 'Agrida' in der Blüte. Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 34: Knollen und Stolonen der Sorte 'Agrida'. Foto: C. Bauer, 2017.

5.2 Zweite Dokumentation am 17.7.2017

Etwa vier Wochen später, am 17.7.2017, fand die zweite Dokumentation statt. Dabei sind bei der Frühsorte 'Anuschka' bereits deutliche Anzeichen des Absterbens der Pflanzen zu erkennen. Die Blätter verfärben sich an der ganzen Pflanze gelb bzw. braun (siehe Abb. 35).



Abbildung 35: Sorte 'Anuschka', Pflanzen beginnen abzusterben. Foto: C. Bauer, 2017.

Der Bestand der Sorte 'Ditta' zeigt noch keine bis sehr geringe Anzeichen des Absterbens. Die Pflanzen stehen aufrecht, nur die untersten Blätter sind teilweise braun verfärbt (siehe Abb. 36). An manchen Pflanzen sind auch noch Blüten vorhanden. Der Bestandesschluss ist mittlerweile erfolgt.



Abbildung 36: Sorte 'Ditta', Pflanzen stehen noch aufrecht. Foto: C. Bauer, 2017.

Auf dem Feld ist außerdem ein Befall von Kartoffelkäfern festzustellen (siehe Abb. 37).



Abbildung 37: Kartoffelkäfer auf einer Pflanze der Sorte 'Ditta'. Foto: C. Bauer, 2017.

Die Pflanzen der Sorte 'Agria' sind in der Entwicklung etwa gleich weit wie die Sorte 'Ditta'. Charakteristisch ist der sehr aufrechte Wuchs (siehe Abb. 38) und die vergleichsweise dicken, rotgefärbten Stängel (siehe Abb. 39). Auch dieser Bestand ist von Kartoffelkäfern befallen.



Abbildung 39: Pflanzen der Sorte 'Agria'. Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 38: Rotfärbung des Stängels bei der Sorte 'Agria'. Foto: C. Bauer, 2017.

5.3 Dritte Dokumentation am 30.7.2017

Am 30.7.2017, zum Zeitpunkt der dritten Dokumentation, ist die Sorte 'Anuschka' im Reifeprozess schon sehr weit vorangeschritten. Das Laub ist gelb bzw. braun verfärbt, einzelne Triebe sind jedoch noch grün (siehe Abb. 40).



Abbildung 40: Sorte 'Anuschka'. Foto: C. Bauer, 2017.

Bei den späteren Sorten 'Ditta' und 'Agria' haben sich die oberirdischen Pflanzenteile innerhalb der zwei Wochen nicht stark verändert. Wenn man jedoch die Sorten nebeneinander vergleicht, so zeigt sich doch ein Unterschied zwischen der mittelfrühen Sorte 'Ditta' und der mittelspäten Sorte 'Agria'. Das Laub der mittelspäten Sorte ist noch durchwegs grün gefärbt, während das der mittelfrühen Sorte (links im Bild) bereits gelbe Verfärbungen aufweist (siehe Abb. 41, S. 54).



Abbildung 41: Vergleich der Sorten 'Ditta' (links) und 'Agria' (rechts). Foto: C. Bauer, 2017.

Die Knollen sind in der Zwischenzeit weiter gewachsen, erkennbar sind auch die unterschiedlichen Formen (siehe Abb. 42). Die Sorte 'Anuschka' entwickelt runde bis leicht ovale Knollen. Zu diesem Zeitpunkt ist die maximale Knollengröße fast erreicht. Die Sorte 'Agria' bildet ovale bis langovale Knollen. Aufgrund der mittelspäten Reife der Sorte und der geringen Niederschlagsmengen im Frühjahr/Sommer 2017 sind die Knollen noch eher klein. Die Sorte 'Ditta' bildet langovale Knollen.



Abbildung 42: Knollenvergleich der verschiedenen Sorten. Foto: C. Bauer, 2017.

5.4 Vierte Dokumentation am 29.8.2017

Etwa einen Monat später, am 29.8.2017 fand die vierte Dokumentation statt. Die Stängel und Laubblätter der Sorte 'Anuschka' sind abgestorben, die Pflanzen trocken (siehe Abb. 43).



*Abbildung 43: Abgestorbene Pflanzen der Sorte 'Anuschka'.
Foto: C. Bauer, 2017.*

Auch die anderen beiden Sorten zeigen nun bereits deutliche Gelbfärbungen der Laubblätter. An den oberen Laubblättern erkennt man die Fraßschäden der Kartoffelkäfer (siehe Abb. 45). Der Unterschied im Reifestadium ist hier gut zu sehen. Die Sorte 'Ditta' hat deutlich mehr gelbe und braune Laubblätter als die Sorte 'Agria' (siehe Abb. 44).



Abbildung 45: Sorte 'Ditta'. Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 44: Sorte 'Agria'. Foto: C. Bauer, 2017.

5.5 Fünfte Dokumentation am 28.9.2017

Am 28.9.2017 wurden die Kartoffel der Sorten 'Ditta' und 'Anuschka' geerntet. Ein Teil der Fröhsorte 'Anuschka' wurde bereit vorher geerntet. Zwischen den Dämmen und Reihen mit den abgestorbenen Pflanzen der Sorte 'Ditta' sind Beikräuter wie der Weiße Gänsefuß (*Chenopodium album*) zu sehen (siehe Abb. 46).



Abbildung 46: Abgestorbene Pflanzen der Sorte 'Ditta'. Foto: C. Bauer, 2017.

Der Unterschied im Reifestadium zwischen den Sorten 'Ditta' und 'Agria' ist weiterhin sichtbar. Die Pflanzen der Sorte 'Agria' sind noch grün (in der Mitte der Abb. 47), sie werden zu einem späteren Zeitpunkt, am 19.10.2017, geerntet.



Abbildung 47: Vergleich: Sorte 'Agria' (Mitte), Sorte 'Ditta' (links und rechts). Foto: C. Bauer, 2017.

5.6 Fazit

Wie schon in Kapitel 3.4.4 (S. 22) beschrieben, reagiert die Kartoffel sehr empfindlich auf Unregelmäßigkeiten in der Wasserversorgung. Diese beeinflusst maßgeblich den Ertrag. Im Jahr 2017 war der Niederschlag in der Wachstumsperiode (von Mitte April bis Ende September) geringer als im langjährigen Durchschnitt. [Winkler et al., 2017] Folglich fiel auch die Knollengröße geringer aus. Vor allem bei der Sorte 'Ditta' waren die Knollen vergleichsweise klein, der Anteil der Knollen mit Zwiewuchs bzw. Durchwuchs war aufgrund von sehr unregelmäßigen Regenfällen hoch. Die Sorte 'Agria' zeigte aufgrund von Regenereignissen Ende August bzw. Anfang September noch einen letzten Wachstumsschub. Auch die Drahtwurmbelastung war durch die Trockenheit im Sommer deutlich erhöht, vor allem bei der Sorte 'Anuschka'.

Neben dem Drahtwurm war auch ein Kartoffelkäferbefall gegeben. Dagegen wurden am zu drei verschiedenen Zeitpunkten Behandlungen mit biologischen Insektiziden durchgeführt. Trotzdem war der Fraß durch die Käfer und Larven an den Pflanzen deutlich zu sehen. Einen Krankheitsbefall gab es nur bei der Sorte 'Agria'. Aufgrund der hohen Feuchtigkeit im September kam es zu einer leichten *Phytophthora*-Infektion der Pflanzen und Knollen. In den Monaten davor war die Blattgesundheit jedoch außergewöhnlich gut.

Zusammenfassend waren die Voraussetzungen für das Wachstum der Kartoffel im Jahr 2017 suboptimal. Das größte Problem war die Trockenheit und die damit verbundenen Ertragseinbußen. Zusätzlich kam es beim Verkaufswert zu Abschlägen aufgrund der durch Zwiewuchs verformten Knollen. Dass trotz der geringen Niederschlagsmengen etwa zwei Drittel der üblichen Mengen gewachsen sind, ist laut Betriebsführer der guten Bodengesundheit zu verdanken. Die 7-jährigen Anbaupausen tragen dazu bei, Schädlinge und Krankheiten weitgehend zu eliminieren. Außerdem wird im Betrieb viel Wert auf eine abwechslungsreiche Fruchtfolge gelegt. Diese fördert den Humusaufbau im Boden, Fruchtbarkeit und Bodenleben. Um guten Ertrag zu gewährleisten, sollten die genannten Faktoren erfüllt werden. [Bauer, 2018]

5.7 Charakterisierung der Sorten

In diesem Kapitel werden die drei Sorten hinsichtlich Knollenmerkmalen, Kocheigenschaften und Verarbeitungseignung charakterisiert.

5.7.1 Sorte 'Anuschka'

Die Sorte 'Anuschka' zählt zu den sehr frühen Sorten. Durch die rundovale Form der Knollen ist sie optisch sehr ansprechend (siehe Abb. 48). Periderm und Speicherparenchym sind gelb gefärbt. Die Sorte ist wenig anfällig für Zwiewuchs, die Knollen wachsen gleichmäßig, sind mittelgroß mit sehr wenigen Untergrößen. Der Kochtyp ist festkochend, wobei größere Knollen auch leicht mehlig sein können. Als Frühkartoffeln werden sie meist ungeschält verarbeitet, weil das Periderm anfangs noch sehr dünn ist. Geeignet ist diese Sorte zum Beispiel für Petersilkartoffel, Bratkartoffel und Salat. Die Konsistenz ist als „cremig“ zu beschreiben. [NOES, 2017]



Abbildung 48: Knollen der Sorte 'Anuschka'. Foto: C. Bauer, 2018.

5.7.2 Sorte 'Ditta'

Die Sorte 'Ditta' ist eine Sorte mit mittelfrühem Reifegrad. Die Knollen haben eine langovale Form, die Farbe von Periderm und Speicherparenchym ist gelb. Manche Knollen zeigen eine „genetzte“ Oberfläche (siehe Abb. 49). Der Kochtyp ist festkochend. Die Sorte 'Ditta' ist besonders gut geeignet für Bratkartoffel, Salat, Auflauf, Kartoffelsuppe und –gulasch. Auch nach längerem Kochen bleibt die Kartoffel fest bzw. „speckig“ und zerfällt nicht. Die Sorte besitzt durch ihre lange Keimruhe eine sehr gute Lagerfähigkeit. Dadurch behält sie ihre hohe Speisequalität bis ins Frühjahr. [NOES, 2017]



Abbildung 49: Knollen der Sorte 'Ditta'. Foto: C. Bauer, 2018.

5.7.3 Sorte 'Agrida'

Die Sorte 'Agrida' hat einen mittelspäten Reifegrad. Die Form der Knollen ist oval bis langoval (siehe Abb. 50). Das Periderm ist gelb gefärbt mit Neigung zur „Netzschaligkeit“, das Speicherparenchym gelb bis tiefgelb. Die Knollen der Sorte 'Agrida' werden bei ausreichender Wasserversorgung sehr groß, daher ist die Anzahl der Knollen pro Pflanze mittel bis gering. Der Kochtyp ist mehlig kochend, bei längerem Kochen springt die „Schale“ stark auf und die Kartoffel zerfällt. Die Sorte 'Agrida' ist gut geeignet für Kartoffelpüree, Knödel und Pommes Frites. Beim Anbau ist die Anfälligkeit für Schorf zu beachten. Schorfgefährdete Böden sollten vermieden werden. Die Blattgesundheit ist als überdurchschnittlich einzustufen. Die Sorte ist besonders keimruhig, sie sollte vor dem Legen durch Erhöhung der Lagertemperaturen unbedingt in Keimstimmung gebracht werden. [NOES, 2017]



Abbildung 50: Knollen der Sorte 'Agrida'. Foto: C. Bauer, 2018.

6 Mikroskopische Analyse der Stärkekörner von *Solanum tuberosum*

Dieses Kapitel soll die Besonderheiten der Kartoffelstärke aufzeigen. Dazu wurden Querschnitte der Knollen angefertigt und unter dem Lichtmikroskop betrachtet.

Die Besonderheiten der Kartoffel-Stärkekörner sind die ovale Form und die exzentrische Schichtung. Die meisten Stärkekörner sind einfach. Das heißt, sie haben nur ein Bildungszentrum. Zusammengesetzte bzw. halb zusammengesetzte Stärkekörner mit mehreren Bildungszentren konnten bei der Sorte 'Anuschka' beobachtet werden (siehe Abb. 51, S. 62). Die exzentrische Schichtung ist vor allem bei größeren Stärkekörnern sehr gut zu erkennen. Die Zellwände der Speicherparenchymzellen sind meist dicht bepackt mit unterschiedlich großen Stärkekörnern.

Bezüglich der Größe und Schichtung der Stärkekörner konnten zwischen den Sorten keine Differenzen festgestellt werden. Lediglich im Vorkommen der halb zusammengesetzten und zusammengesetzten Stärkekörner gab es Unterschiede. Diese waren nur bei der Sorte „Anuschka“ zu sehen.

Solanum tuberosum „Anuschka“ (Solanaceae)
mikroskopisch
Pflanzenteil: Sprossknolle
Querschnitt
Vergrößerung: 100 x

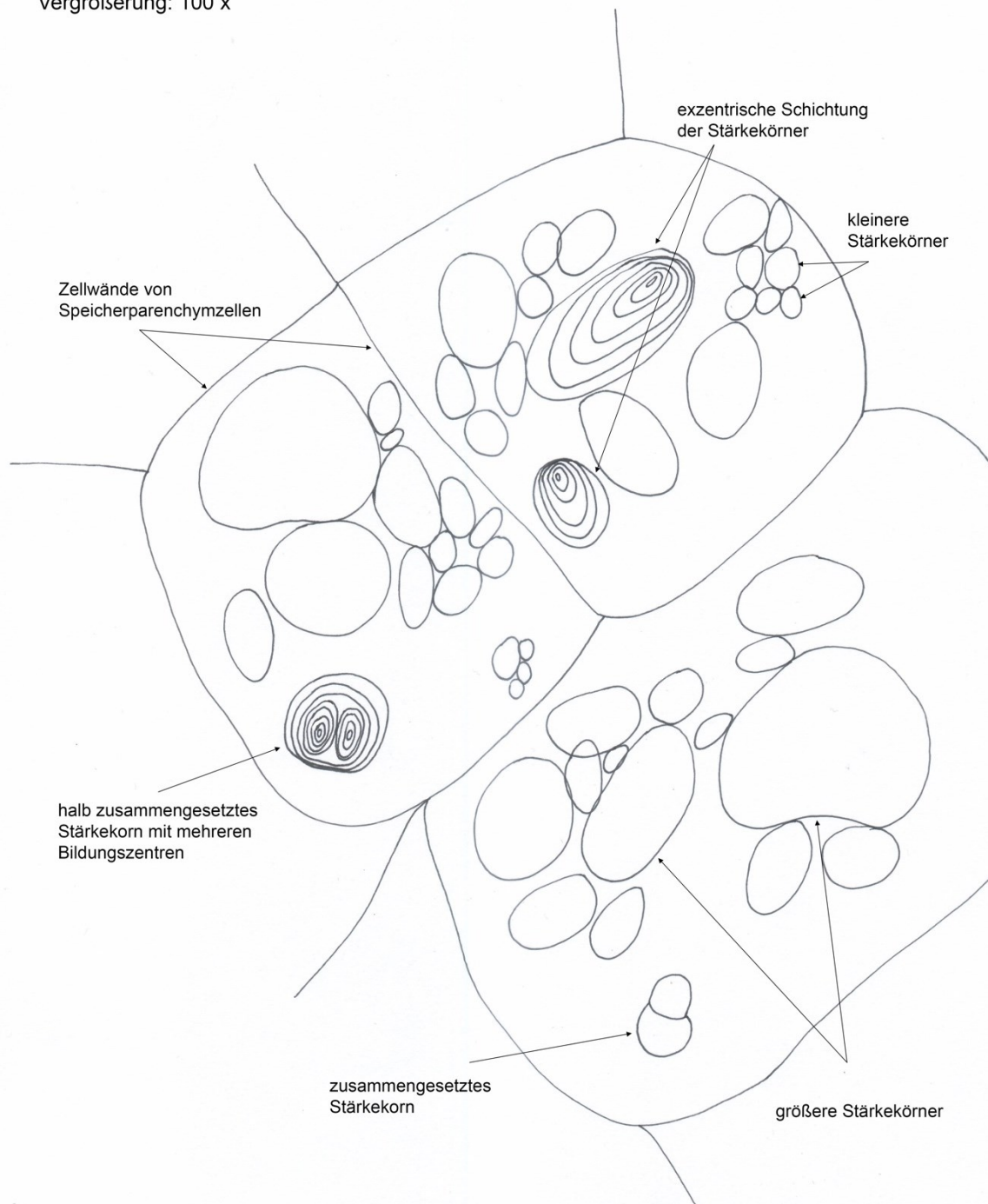


Abbildung 51: Zeichnung der Speicherparenchymzellen der Sorte 'Anuschka' mit Stärkekörnern. C. Bauer, 2018.

7 Anbau der Kartoffel

Die Vermehrung der Kartoffel erfolgt über die Ausläuferknollen, daher spricht man von der „Pflanzung“ der Kartoffel. Um einen angemessenen Ertrag sicherzustellen, gibt es einige Besonderheiten zu beachten.

7.1 Ansprüche an Boden und Standort

In Bezug auf die Bodenart gelten Kartoffeln als vergleichsweise anspruchslos. Es gibt keine nennenswerten Ertragssteigerungen auf besonders guten Böden, so wie es bei anderen Kulturen der Fall ist. Trotzdem kommt es je nach Standort zu unterschiedlich hohen Erträgen. Entscheidend sind andere Einflussgrößen, z.B. die Feuchtigkeit des Bodens. Wie bereits in Kapitel 3.4.4 (S. 22) angeführt, reagiert die Kartoffel sehr stark auf Unregelmäßigkeiten in der Wasserversorgung. [Iwama, 2008] In trockenen Jahren kann es zu erheblichen Ertragseinbußen kommen, optimal ist eine gleichmäßige Niederschlagsverteilung. [Nitsch, 2003] Wichtig sind daher tiefgründige Böden mit guter Wasserhaltefähigkeit. Dies ist bei mittleren Lehmböden wie sandigem Lehm gegeben. Auch eine krümelige, lockere Struktur und gute Erwärmbarkeit des Bodens sind von Bedeutung. [Kolbe, 2003] Längere Trockenheit während der Wachstumsperiode kann zur Beeinträchtigung des Knollenwachstums führen. Durch anschließende Regenereignisse neigen Knollen zum Durchwuchs, es kommt zur Neubildung von Stolonen und Knollen (siehe Abb. 52). Auch Zwiewuchs und Kindelbildung (siehe Abb. 53 und 54, S. 64) treten vor allem dann auf, wenn auf lange Trockenperioden Regen folgt.



Abbildung 52: Neubildung von Stolonen und Knollen durch Regenereignis nach längerer Trockenperiode. Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 54: Kindelbildung. Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 53: Zwiewuchs. Foto: C. Bauer, 2017.

Besonders Hackfrüchte wie die Kartoffel profitieren von einem hohen Humusgehalt. Dieser beeinflusst Struktur, Pufferung und Nährstoffverfügbarkeit im Boden positiv. Die Erhaltung der organischen Substanz im Boden ist daher ein vorrangiges Ziel in der Bewirtschaftung. [Kolbe, 2003] Für den Aufbau einer stabilen Humusschicht sind die Bodenlebewesen von großer Bedeutung. Sie sorgen für die mechanische Zerkleinerung von Ernterückständen und deren Vermischung mit mineralischen Bodenbestandteilen. Um optimale Bedingungen für ein intensives Bodenleben sicherzustellen, sollte auf eine vielfältige und artenreiche Fruchtfolge mit Verwendung von Leguminosen geachtet werden. Eine standortgerechte Bodenbearbeitung ist ebenso wichtig wie die jährliche Zufuhr von organischer Substanz. Diese dient als Nahrungs- und Energiequelle für die Bodenlebewesen und wird unter anderem durch Ernterückstände zur Verfügung gestellt. Auch der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel wirkt sich positiv auf das Bodenleben aus. [Berger et al., 2007]

Die Bodenart beeinflusst die Knollenform, Gestalt und Farbe. Grundsätzlich erhalten die Knollen auf leichten Böden eine schönere Form und Farbe als auf schweren Böden. Besonders Bodenverdichtungen führen zu deformierten Knollen. Auf steinreichen Böden kann es zusätzlich zu Verletzungen der Knollen während der Ernte kommen. Die Ausprägung des Periderms wird hauptsächlich von der Bodentemperatur bestimmt. Mit höheren Temperaturen in leicht erwärmbaren

Sandböden nimmt die Dicke des Periderms zu, es kommt teilweise zur Ausprägung von Netzschaligkeit. Auf weniger erwärmbaren, schweren Böden erhält man eher „glattschalige“ Kartoffeln. [Kolbe, 2003]

7.2 Fruchtfolge

Im biologischen Kartoffelanbau hat die Fruchtfolge einen zentralen Stellenwert bei der Bekämpfung von Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern. Ausreichende Anbaupausen verringern das Infektionspotenzial von Krankheiten und das Auftreten von Schädlingen. Kartoffel sollten maximal in einem Abstand von 4 Jahren angebaut werden, besser sind jedoch Anbaupausen von 5 bis 6 Jahren. [Veerman und Wustman, 2006] Auch Wechselwirkungen mit anderen Kulturen sind zu beachten. Der Erreger *Rhizoctonia solani* (siehe Kapitel 8.2.1.2., S. 79) beispielsweise tritt auch bei Zuckerrüben auf, deshalb sollte hier ein ausreichender zeitlicher Abstand im Anbau gegeben sein. Um den hohen Nährstoffbedarf der Kartoffel zu decken, sollten Vorfrüchte gewählt werden, die hohe Mengen an leicht zersetzbarem organischen Material zurücklassen und damit die Gare des Bodens fördern. Gut geeignet sind zum Beispiel Hackfrüchte. Leguminosen wie Lupine oder Ackerbohne gelten aufgrund der Stickstoffbindung im Boden als relativ günstige Vorfrüchte, besonders an Standorten mit schwerem Boden ist der Vorfruchtwert der Ackerbohne sehr hoch. Kartoffeln hinterlassen im Boden viel auswaschungsgefährdeten Stickstoff. Es ist daher sinnvoll, Folgekulturen wie Wintergetreide oder Begrünungen zu wählen, weil diese den Stickstoff im Herbst gut verwerten können. [Möller und Kolbe, 2003]

Bei der Bekämpfung des Drahtwurms (siehe Kapitel 8.1.2, S 75) spielt die Fruchtfolge eine besonders wichtige Rolle. Hier sollte Klee gras als Vorfrucht unbedingt vermieden werden.

7.3 Nährstoffversorgung

Die Pflanze benötigt Nährstoffe, damit Wachstum, Knollenertrag und –qualität gesichert werden können. Folgenden Nährstoffen kommt dabei besondere Bedeutung zu.

7.3.1 Stickstoff (N)

Kurz vor Beginn der Knollenbildung hat die Pflanze den höchsten Stickstoffbedarf. Eine gute Versorgung fördert die Krautbildung und damit den Bestandesschluss. Damit geht eine verbesserte Unkrautunterdrückung einher. Je mehr Stickstoff in den Blättern eingelagert wird, umso höher ist der Knollenzuwachs und umso länger dauert die Ertragsbildung an. Die Pflanze nimmt zwar während der Bildung der Knollen Stickstoff aus dem Boden auf, später wird jedoch der Stickstoff aus den Blättern in die Knollen umgelagert. Dadurch sinkt die Photosyntheseleistung der Blätter und der Chlorophyllgehalt sinkt. In Folge werden die Blätter gelb, sterben ab und es kommt zur Abreife des Bestandes. [Berner et al., 2010]

Stickstoff bewirkt eine Zunahme des Anteils großer Knollen und des durchschnittlichen Knollengewichts. Zusätzlich steigt die Häufigkeit von unerwünschter Kindelbildung und Wachstumsrissen an den Knollen. Ein zu hohes N-Angebot fördert ständige Blattneubildungen und Verzweigungen. Es kommt zur Bildung eines großen Blattapparates. Daraus folgt eine verzögerte Knollenanlage, verringerte Zuwachsraten und eine späte Abreife. Konsequenzen sind eine geringere Schalenfestigkeit, höhere Beschädigungsempfindlichkeit und damit einhergehende geringere Lagerfähigkeit. In der biologischen Landwirtschaft kommt es nur sehr selten zu einer übermäßigen Stickstoffversorgung. Die Düngung erfolgt mit organisch gebundenen Nährstoffen in Form von Mist oder Gülle, die durch Bodenmikroorganismen erst verfügbar gemacht werden. Je aktiver der Boden ist, umso höher ist die Mineralisierungsrate. Die Aktivität des Bodens wird durch einen hohen Humusgehalt und eine gute Durchlüftung unterstützt. [Möller und Kolbe, 2003]

7.3.2 Kalium (K)

Kalium gehört zu den wichtigsten Mineralstoffen in Kartoffelpflanzen und Knollen, im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen ist der K-Bedarf der Kartoffel höher. Die Aufgaben von Kalium in der Pflanze sind vielfältig. Es aktiviert Enzyme und ist an der Photosyntheseleistung und der Umlagerung von Kohlenhydraten in die Knollen beteiligt. Kalium verbessert außerdem die Lagerfähigkeit. Steigende K-Konzentrationen in der Pflanze führen zur Bildung von organischen Säuren wie

z.B. Vitamin C, um ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Anionen und Kationen zu gewährleisten. Dadurch steigt nicht nur der Vitamin C-Gehalt, zusätzlich erhöht sich auch die Widerstandsfähigkeit der Knollen gegenüber enzymatischen Verfärbungen, z.B. Schwarzfleckigkeit und nicht enzymatischen Verfärbungen, z.B. Kochdunklung. [Möller und Kolbe, 2003] Die Kaliumversorgung wird in der biologischen Landwirtschaft über die Düngung mit Mist und Gülle sichergestellt. [Berner et al., 2010]

7.3.3 Phosphor (P)

Die Pflanze benötigt Phosphor für den Energie- und Eiweißstoffwechsel, maßgeblich ist dies für den Aufbau der Stärke in den Knollen. Sind die Bestände gut mit Phosphor versorgt, erfolgt das Wachstum zu Beginn sehr rasch. Somit werden der Bestandesschluss und die Abreife früher erreicht. Die Aufnahme von Phosphor in die Pflanzen wird größtenteils von Standort und Witterung beeinflusst. Herrschen in der Jugendentwicklung Trockenheit und niedrige Temperaturen, so wird die P-Aufnahme gehemmt. Eine gute Bodenstruktur, die intensives Wurzelwachstum fördert, kann die Aufnahme von Phosphor aus dem Boden verbessern. Die Phosphorversorgung wird in der biologischen Landwirtschaft durch Mistgaben gedeckt. [Allison et al., 2001; Möller und Kolbe, 2003]

7.4 Bodenvorbereitung

Die Bodenvorbereitung zielt darauf ab, ein lockeres Bodengefüge mit guter Durchlüftung zu schaffen. Dieses unterstützt die Keimung und das Wachstum der Pflanzen durch günstige Temperaturbedingungen. Das feine Wurzelsystem der Kartoffel reagiert besonders empfindlich auf Bodenverdichtungen. Schwere Böden sollten im Herbst gepflügt werden, da sich bei der Frühjahrsfurche sogenannte „Schrollen“ bilden können, die das Knollenwachstum beeinträchtigen und die Knollen während der Ernte beschädigen können. Auf steinigem Boden ist eine Entsteinung zu empfehlen, um Verletzungen der Knollen bei der Ernte zu vermeiden. Wenn größere Mengen organischer Masse einzuarbeiten sind, ist im Frühjahr durch eine tiefere Oberflächenbearbeitung ein lockeres, „schrollenfreies“ Saatbett vorzubereiten. [Berger et al., 2006]

7.5 Pflanztermin

Grundsätzlich gilt, je früher die Kartoffel gepflanzt wird, umso höher sind die Erträge. Je nach Witterung kann die Pflanzung bereits Mitte März, oder auch erst Mitte bis Ende April erfolgen. Das wichtigste Kriterium ist ein genügend abgetrockneter Boden. Durch die Bearbeitung von nassen Böden kann die Aggregatstabilität zerstört werden. Zudem sind zu feucht bearbeitete Böden sauerstoffarm und die Belastung mit Krankheitserregern, die zu Auflaufschäden führen können, ist viel höher. [Nitsch, 2003]

7.6 Pflanzgutbedarf

Der Pflanzgutbedarf richtet sich nach der geplanten Bestandesdichte. Ein Standardmaß im Kartoffelbau sind 75 cm Reihenabstand und 33 cm Pflanzabstand. So ergibt sich ein Bedarf von ca. 40.000 Knollen pro Hektar, das entspricht etwa 2.500 kg Pflanzgut. Eine Reihenweite von 75 cm bietet genügend Platz für die Ausbildung der Knollen. Die Folgen sind weniger grüne und weniger beschädigte Knollen durch einen geringen seitlichen Dammdruck, ein höherer Anteil von größeren Knollen und eine verringerte Ansteckungsgefahr für Knollenfäule. [Berner et al., 2010; Berger et al., 2006]

7.7 Pflanztechnik

Für das Legen der Kartoffeln gibt es verschiedene Pflanzmaschinen mit unterschiedlichen technischen Ausstattungen. Wichtig ist, dass die Knollen und jungen Triebe beim Legen nicht beschädigt werden. Bei der exakten Ablage innerhalb der Reihen sollten die Knollenform und –größe keine Rolle spielen. Dennoch macht es Sinn, auf eine möglichst einheitliche Form und Größe des Pflanzguts zu achten. Eine gleichmäßige Ablagentiefe und Knollenablage innerhalb der Reihe sind Voraussetzungen für eine einheitliche Bestandesentwicklung. In Folge sind die Pflegemaßnahmen einfacher durchzuführen. Die Dämme werden gut beschattet, was eine Unterdrückung des Unkrautwuchses fördert. [Nitsch, 2003] Das Legen der Knollen erfolgt meist in zwei Arbeitsgängen. Zuerst werden mithilfe einer Dammmfräse die Dämme gezogen, dann wird das Pflanzgut mit der Legemaschine in den Boden gelegt (siehe Abb. 55 und 56).



Abbildung 55: Legemaschine im Hinteranbau. Foto: C. Bauer, 2018.



Abbildung 56: Traktor mit Hackgerät vorne und Legemaschine hinten. Foto: C. Bauer, 2018.

Im Betrieb meiner Eltern werden die Kartoffeln in einem zweireihigen Dammsystem mit 150 cm Breite gepflanzt (siehe Abb. 57). Die Bearbeitung der Dämme gestaltet sich einfacher, weil die Knollen von mehr Erde umgeben sind und die Verletzungsgefahr somit geringer ist. Außerdem bleibt die Feuchtigkeit besser im Boden erhalten. Das ist von besonderer Bedeutung, weil gerade im Weinviertel die Niederschläge oft sehr gering ausfallen (siehe Kap. 7.11, S. 73). [Bauer, 2018]

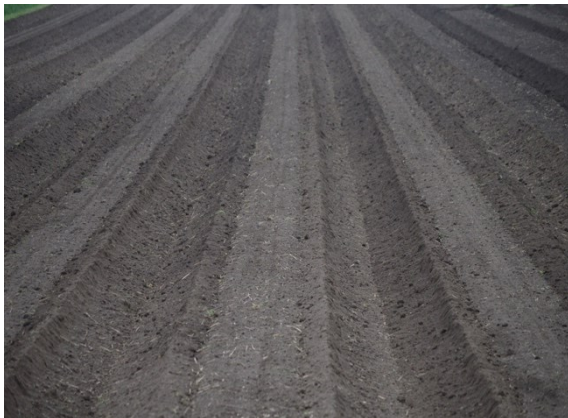


Abbildung 57: Zweireihiges Damm-System. Foto: C. Bauer, 2018.

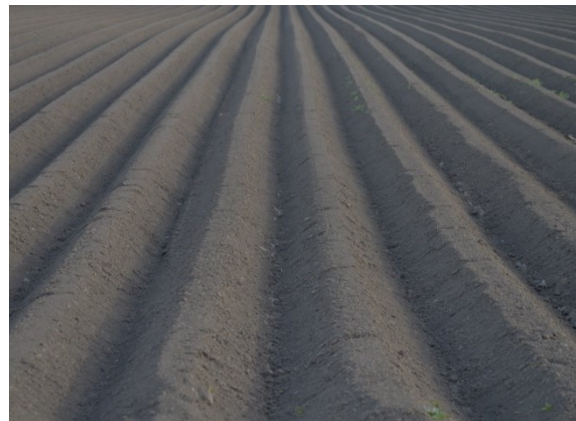


Abbildung 58: Dammsystem mit 75 cm Dammbreite. Foto: C. Bauer, 2018.

Die meisten Kartoffel werden jedoch im herkömmlichen 75 cm-Damm-System angebaut (siehe Abb. 58). Ein Vorteil ist, dass die meisten Geräte und Maschinen genau diesem System angepasst sind. Zudem trocknen die Dämme schneller ab, was vor allem im Herbst vor Staunässe schützen kann. Nachteilig ist jedoch, dass die einzelnen Dämme nicht so stabil sind. So wird zum Beispiel bei Pflegemaßnahmen die Erde leichter abgetragen und die Knollen werden zum Teil freigelegt. Auch die Verletzungsgefahr der Knollen durch die Geräte ist höher. [Bauer, 2018]

7.8 Bestandespflege

Zwischen dem Legen der Kartoffeln und dem Bestandesschluss werden verschiedene Maßnahmen durchgeführt. Diese dienen der Unkrautbekämpfung und dem Aufbrechen von Verkrustungen, um die Durchlüftung des Bodens zu gewährleisten. Außerdem sollen sie den Aufbau eines stabilen Dammes unterstützen, der den Pflanzen einen optimalen Wurzelraum bietet. Geeignete Geräte dafür sind einfache Scharhäufler und Dammstriegel. Aufgrund unterschiedlicher Bedingungen wie Witterung, Entwicklung von Kartoffel und Unkraut erfolgt die Bearbeitung je nach Standort sehr individuell. Eine zu tiefe Bearbeitung der Dämme kann zu Schäden an Wurzeln und Stolonen führen und ist zu vermeiden. [Kainz, 2003]

7.9 Ernte

Grundsätzlich sollte die Ernte unter trockenen Bedingungen stattfinden. Feuchte Knollen sind beschädigungsempfindlicher als trockene. Verletzungen der Knollen sind aufgrund des erhöhten Infektionsrisikos weitgehend zu vermeiden. Voraussetzungen dafür sind geeignete Maschinen und geschultes Personal. [Veerman und Wustman, 2006] Die Knollen sollten zum Zeitpunkt der Ernte „schalenfest“ sein. Lässt sich das Periderm mit dem Daumen leicht abschieben, so wie es bei Frühkartoffeln der Fall ist, sind die Kartoffeln noch nicht erntereif. Auch die Lagerfähigkeit dieser „losschaligen“ Knollen ist begrenzt, sie würden nach der Ernte im Vergleich zu reifen Knollen einen 15- bis 100-fachen Wasserverlust erleiden. [Drangmeister, 2011]

In manchen Jahren kommt es vor, dass die Kartoffelpflanzen aufgrund von Erkrankungen bereits im Juli absterben, die Ernte aber erst im September erfolgt. In diesem Zeitraum können Unkräuter zu großen Pflanzen auswachsen. Damit sie beim Roden der Kartoffeln nicht stören, können sie mit dem Krautschläger erfasst und zerkleinert werden. Die Dämme sollten bei diesem Arbeitsschritt jedoch nicht beschädigt werden, um ein Freilegen und anschließendes Ergrünen der Knollen zu verhindern. [Kainz, 2003]

Die Ernte erfolgt mit dem Kartoffelroder (siehe Abb. 59, S. 72). Dieser nimmt die Knollen auf, das Kraut, Kartoffeln und Unkräutern wird abgeschnitten. Verschiedene Mechanismen sieben Erdklumpen, Steine und Pflanzenteile aus, die Knollen werden auf ein Sortierband transportiert. Dort werden faule Kartoffeln, Steine, etc. von Hand

aussortiert. Auf einem Förderband werden die Kartoffeln in einen Vorratsbehälter transportiert. Wenn dieser voll ist, werden sie auf einen Ladewagen umgeladen (siehe Abb. 60, S. 72). Anschließend werden die Kartoffeln in Kisten eingelagert. [Bauer, 2018]



Abbildung 59: Kartoffelroder. Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 60: Umladen der geernteten Kartoffel auf den Ladewagen. Foto: C. Bauer, 2017.

7.10 Lagerung

Ziel der Lagerung ist es, die Knollen über einen längeren Zeitraum frei von Fäulnis zu halten, möglichst geringe Gewichtsverluste zu erzielen und die inneren und äußeren Qualitäten sicher zu stellen. Mit einem Wassergehalt von 70 - 80 % stellt die Kartoffel

einen idealen Nährboden für Pilze und Bakterien dar. Zusätzlich ist durch das dünne Periderm der Knollen eine erhöhte Verletzungsgefahr gegeben, wodurch die Erreger leicht eindringen können. Die Korkkambium-Schicht sorgt zwar für einen schnellen Wundverschluss, dafür ist allerdings eine trocknende Umgebungsluft notwendig. Zu Beginn der Lagerperiode sind höhere Temperaturen von ca. 12 bis 15 °C notwendig, damit die Wundheilphase der Knollen abgeschlossen werden kann. Später sollten die Kartoffeln möglichst kühl (2 bis 4 °C) gelagert werden, um die Stoffwechselfvorgänge zu reduzieren und den Pilzen und Bakterien ihre Lebensgrundlage zu entziehen. Um ein Austrocknen der Knollen zu verhindern, bedarf es einer Luftfeuchtigkeit von 90 bis 95 %. Um diese Bedingungen gewährleisten zu können, muss das Lager so gut wie möglich abgedichtet und isoliert sein. Kranke Knollen sollten vor dem Einlagern aussortiert werden, um eine Ansteckung zu verhindern. [Nitsch, 2003] Das Regulieren der Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Lager erfolgt über Kühl- und Belüftungssysteme.

7.11 Beschreibung des Anbau-Standortes

Der Betrieb meiner Eltern befindet sich in Grund, im Bezirk Hollabrunn im Nordosten Niederösterreichs. Im Weinviertel gelegen, ist der Standort von pannonischem Klima geprägt, der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt zwischen 450 und 550 mm. [AGES, 2017] Die Sommer sind meist heiß und trocken, die Winter kalt und schneearm. Das trockene Klima bedeutet für den Kartoffelanbau zwar geringere Erträge, dafür aber eine höhere Qualität. Vor allem der Geschmack, die Haltbarkeit und die Verarbeitungseignung sind sehr gut. Durch den höheren Trockensubstanzgehalt der Knollen, der sich aus den geringen Niederschlägen ergibt, ist die Ware wesentlich besser lagerfähig. Auch die Ausbreitung von Krankheiten ist durch das trockene Klima geringer als in niederschlagsreichen Gebieten. [GRM, 2013] Der Anbaustandort ist dominiert von Tschernosem-Böden. Dieser Bodentyp ist sehr humusreich und hat einen ausgeprägten A-Horizont. Der A-Horizont ist der oberste Mineralbodenhorizont. Er ist durch den Humusgehalt relativ dunkel gefärbt. Tschernosem-Böden besitzen hohe Nährstoffvorräte. Damit sind sie sehr gute Ackerstandorte und vor allem für Weizen und Zuckerrüben bestens geeignet. Für Kartoffeln bieten sie nicht die besten Anbaubedingungen, da diese eher leichte, sandig-lehmige Böden bevorzugen. [eBod, 2009; Nestroy et al., 2011]

8 Schädlinge, Krankheiten und Gegenmaßnahmen

Die häufigsten Schädlinge im biologischen Kartoffelanbau sind Kartoffelkäfer und Schnellkäfer. Bei letzteren verursachen hauptsächlich die Larven, auch Drahtwürmer genannt, Schäden an den Kartoffeln. Die wichtigsten Krankheitserreger der Kartoffeln sind Pilze, z.B. *Phytophthora infestans* und *Rhizoctonia solani* sowie Bakterien, z.B. *Erwinia carotovora*.

Die wichtigste Gegenmaßnahme zur Vorbeugung und Bekämpfung der Schädlinge und Krankheiten ist die richtige Kartoffelkultur. Darunter versteht man eine weite Fruchtfolge, schonende Bodenbearbeitung, die Förderung der Mikroorganismen im Boden, richtige Sortenwahl und die Verwendung von gesundem Pflanzgut. [Berger et al., 1979]

8.1 Schädlinge

8.1.1 Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*)

Der Kartoffelkäfer gehört zur Ordnung der Käfer (Coleoptera) und stammt aus der Familie der Blattkäfer (Chrysomelidae). [Börner et al., 2009]

Der Käfer hat einen gelb-schwarz gestreiften Körper und wird ca. 1 cm lang. Seine rotbraunen, bis zu 1,5 cm langen Larven verursachen Fraßschäden an den Fiederblättern der Kartoffelpflanze. Sie schlüpfen aus Eiern, die der Käfer an der Blattunterseite ablegt. Diese sind oval und haben eine auffallend leuchtende orange Farbe (siehe Abb. 61-63, S. 75). [Nitsch, 2003]

Die Käfer überwintern im Boden und verlassen im Frühling ihr Winterquartier. Sie werden von Duftstoffen angezogen, die die Kartoffelpflanzen ausströmen und gelangen so zu den Feldern. [Dickens, 2000] Besonders in Jahren mit warmer und trockener Witterung kann der Käferbefall zu schweren Ertragseinbußen führen. Bei starken Fraßschäden an den Pflanzen werden Knollenansatz und -größe deutlich reduziert. [Möller et al., 2003]



Abbildung 63: Kartoffelkäfer.
Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 63: Frisch geschlüpfte Larven an der Blattunterseite.
Foto: C. Bauer, 2017.



Abbildung 63: Fraßschäden an den Fiederblättern, verursacht durch Larven des Kartoffelkäfers. Foto: C. Bauer, 2017.

Der Befall durch den Kartoffelkäfer kann entweder durch händisches oder mechanisches Absammeln der Käfer und Larven oder durch den Einsatz von Insektiziden reguliert werden. In der biologischen Landwirtschaft sind Insektizide auf Basis von *Bacillus thuringiensis* (Bacteria) (z.B. Novodor) oder Extrakten des Neembaumes *Azadirachta indica* (NeemAzal T/S) erlaubt. *B. thuringiensis* produziert kristalline Cytolytic- bzw. Crystal-Proteine (Bt-Toxine), die auf verschiedene Insektenarten toxisch wirken. [Bravo et al., 2007] Die Behandlung findet nach dem Schlüpfen der ersten Larven statt. Die Raupen fressen die mit dem Insektizid behandelten Blätter und nehmen dabei die Bakterien und ihre Toxine auf. Diese werden im Verdauungstrakt aktiviert und passieren die Darmwand. Die Raupen erkranken und sterben innerhalb weniger Tage. [NOES, 2017]

8.1.2 Schnellkäfer (Elateridae)

Aus der Familie der Schnellkäfer (Familie der Elateridae, Ordnung der Coleoptera) sind in Europa ca. 150 Arten bekannt. Ihren Namen verdanken sie einem Schnellmechanismus am Thorax, mit dem sie in die Höhe springen und sich so aus der Rückenlage befreien können. [Börner et al., 2009]

Schädlich für Pflanzen sind ausschließlich die Larven der Schnellkäfer, auch Drahtwürmer genannt. Im Kartoffelbau sind es hauptsächlich Arten der Gattungen *Agriotes* und *Corymbites*, die Schäden an den Knollen bewirken. Im Bio-Kartoffelanbau gilt der Drahtwurm als wichtigster Schädling und Hauptverursacher von Qualitätsmängeln. Kartoffeln mit Drahtwurmschäden sind meist nicht

vermarktungsfähig, die Folge sind hohe wirtschaftliche Schäden. [Keiser et al., 2012; Berner et al., 2010]

Die Drahtwurmlarven sind dünn, gelb bis braun gefärbt und haben einen harten Panzer (siehe Abb. 64). Sie fressen sich in 2 bis 4 mm breiten Gängen durch die Knollen. Äußerlich sichtbar sind kleine, dunkle „Löcher“ (siehe Abb. 65). Außerdem kommt es zu einer geschmacklichen Beeinträchtigung. Die Knollen schmecken „erdig“ und sind ungenießbar. Der Verkaufswert der Knollen wird schon bei geringem Befall vermindert. [Möller et al., 2003]



Abbildung 65: Larve des Drahtwurmes.
Foto: C. Bauer, 2017



Abbildung 64: Drahtwurmschäden an den Knollen. Foto: C. Bauer, 2018.

Der richtigen Fruchtfolgegestaltung kommt in der Bekämpfung des Drahtwurmes eine wichtige Bedeutung zu. Die Käfer legen ihre Eier bevorzugt in dicht bewachsene, ungestörte Bestände wie Grünland, Klee gras oder Getreide. Die geschlüpften Larven können sich dort bestens entwickeln und bei der Folgefrucht erhebliche Schäden anrichten. [Möller et al., 2003] Je nach Lebensbedingungen dauert der Entwicklungszyklus 3 bis 5 Jahre. Im zweiten und dritten Entwicklungsjahr verursachen die Larven die größten Schäden, später sinkt die Populationsdichte wieder und der Schaden wird geringer. Auch der Wassergehalt des Bodens ist ein wichtiger Faktor. Ist dieser besonders niedrig, so decken die Larven ihren Wasserbedarf durch den Fraß der Knollen. [Berner et al., 2010]

Zur Vorbeugung von Drahtwurmbefall gibt es in der biologischen Landwirtschaft ein biologisches Insektizid, das Hefezellen als Lockstoffquelle und den für Drahtwürmer tödlichen Pilz *Metarhizium brunneum* (Ascomycota) enthält. Die Schädlinge infizieren sich mit den Pilzsporen und sterben nach einigen Tagen ab. Die Behandlung mit dem Insektizid findet bereits beim Legen der Kartoffeln statt. Zusätzlich ist – wie bereits erwähnt – die Gestaltung der Fruchtfolge von großer Bedeutung. Grundsätzlich sollten Kartoffeln nicht innerhalb von 3 Jahren nach mehrjährigem Klee gras angebaut werden. Als Vorfrüchte sind Leguminosen wie Ackerbohne, Erbse und Lupine geeignet. Auch hohe Anteile an Sommerungen in der Fruchtfolge können den Drahtwurmbefall reduzieren. In der Literatur wird oft empfohlen, Kartoffeln nach einjährigem Klee gras zu bauen, weil dann noch genügend organisches Material vom Vorjahr als Nahrung zur Verfügung stehe. In der Praxis hat sich dieser Ansatz jedoch nicht bewährt. Es zeigte sich ein verstärkter Drahtwurmbefall der Kartoffeln. [Schepl und Paffrath, 2003] Erst eine Pause von 4 bis 5 Jahren zwischen Klee gras und Kartoffeln brachte signifikante Verbesserungen. [Keiser et al., 2012] Neben einer geeigneten Fruchtfolge kann auch vorzeitiges „Krautabschlegeln“ und Ernten Vorteile bringen. Auf Versuchsflächen führte diese Maßnahme zu geringeren Drahtwurmschäden an den Knollen. Auch eine gründliche Bodenbearbeitung vor dem Anbau und nach der Ernte können die Drahtwürmer in empfindlichen Entwicklungszeiten schädigen. [Berner et al., 2010]

8.2 Krankheiten

8.2.1 Pilzkrankheiten

8.2.1.1 *Phytophthora infestans* – Erreger der Kraut- und Knollenfäule

Die Pilzart *Phytophthora infestans* gehört innerhalb der Ordnung Peronosporales zur Familie der Pythiaceae. [Börner et al., 2009] Sie ist der Erreger der bedeutendsten Krankheit im Bio-Kartoffelanbau, der Kraut- und Knollenfäule. Besonders davon

betroffen sind Regionen mit hohen Niederschlagsmengen, wie etwa das Alpenvorland. Bei Auftreten des Erregers im Jugendstadium der Pflanzen kann es bei entsprechender Witterung zu hohen Ertragsverlusten kommen. Ein Befall durch *Phytophthora infestans* zeigt sich anhand verschiedener Merkmale. An den Blättern bilden sich gelbe bis dunkelgrüne Flecken, die später braun werden (siehe Abb. 66). Die



Abbildung 66: Symptome von *Phytophthora infestans* an den Blättern der Kartoffelpflanze. [Kolbe et al., 2012]

Blattunterseite ist unter feuchten Bedingungen von einem weißen Myzelrasen überzogen. An den Knollen erkennt man die Kartoffelfäule äußerlich an grauen, leicht eingesunkenen Flecken. Das darunter liegende Gewebe ist teilweise braun gefärbt. [Möller et al., 2003]

Als Ausgangspunkt für die Infektion eines Bestandes dienen einzelne Pflanzen, die sich aus infizierten Knollen entwickelt haben. Der Pilz überwintert als Myzel in faulen Knollen im Lager oder auf dem Feld. Durch Sporenflug kann er sich bei günstigen Bedingungen rasch ausbreiten und sogar größere Anbauggebiete befallen. Bei trockener Witterung wird die Ausbreitung unterbrochen. Setzt anschließend wieder feuchte Witterung ein, nimmt der Befall weiter zu. An den Pflanzen führt der Krautfäulebefall zur Zerstörung des Blattapparates. Folglich steht dieser nicht für die Photosynthese zur Verfügung, dadurch kommt es zu Ertragsminderungen. Die Knollen werden durch Sporen infiziert, die von den Blättern in den Boden gespült werden. [ebd.]

In der biologischen Landwirtschaft kann Krautfäule nur durch Anwendung von Kupfer-Präparaten reguliert und bekämpft werden. Jedoch ist die Anreicherung von Kupfer im Boden recht problematisch. Auch mögliche negative Auswirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen sind möglich. [Nechwatal, 2015] Kupfer wirkt als Pflanzenschutzmittel gegen *Phytophthora infestans* rein protektiv. Ein Schutz ist nur gegeben, wenn bereits vor einer möglichen Infektion ein Kupferbelag auf dem Kraut vorhanden ist. Bei schon vorhandener Infektion kann die Ausbreitung nicht gestoppt werden. Die Behandlung mit Kupfer sollte also rechtzeitig vor größeren Niederschlägen erfolgen, um den Bestand zu schützen. Ist die Ertragsbildung vor der ersten Infektion schon weit fortgeschritten, kann meist auf eine Kupferanwendung verzichtet werden. [Berner et al., 2010]

In der konventionellen Landwirtschaft gibt es eine Reihe gut wirksamer Fungizide. Diese werden in Verbindung mit Prognosemodellen etwa 10 Tage vor Ausbruch der Infektion eingesetzt. Aufgrund der Gefahr von Resistenzbildungen sollten diese sogenannten systemischen Pflanzenschutzmittel nur mit Zurückhaltung eingesetzt werden. [Nitsch, 2003]

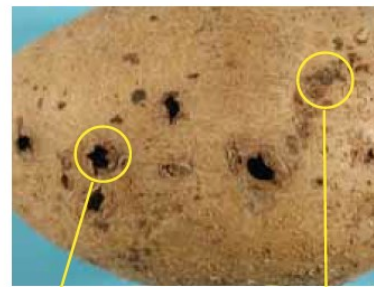
Zwischen dem Fäulebefall der Blätter und den Knollen besteht kein signifikanter Zusammenhang. Kupferanwendungen sind daher zur Bekämpfung der Braunfäule bei Knollen ungeeignet. Als wirksame Maßnahme kann sich das Abschlägeln des Krautes erweisen. So wird dem Pilz die Nahrungsgrundlage entzogen. Mit zunehmender Dauer zwischen dem Absterben der Pflanzen und Ernten der Knollen erhöht sich die Gefahr eines Befalls durch andere Krankheiten. Daher sollte das Abschlägeln frühestens drei Wochen vor dem geplanten Erntetermin erfolgen. [Möller et al., 2003]

8.2.1.2 *Rhizoctonia solani* – Erreger der Wurzeltöterkrankheit

Der Pilz *Rhizoctonia solani* ist die anamorphe (asexuelle) Form der Pilzart *Thanatephorus cucumeris*. Er ist der Erreger der Wurzeltöterkrankheit. [Börner et al., 2009] Bei hoher Luftfeuchtigkeit entwickelt sich an den Stängeln und unteren Blättern das Pilzmyzel. Dieses Erscheinungsbild wird auch „Weißhosigkeit“ genannt. [Berger et al., 1979]

Die *Rhizoctonia*-Krankheit wird auch Pockenkrankheit genannt, da sich an den Knollen schwarze Pocken bilden, die nicht abwaschbar sind. Ein Befall mit *Rhizoctonia solani* kann zu wesentlichen Auflaufverzögerungen und in Folge zu hohen Ertrags- und Qualitätseinbußen führen. Der Erreger kann bereits im Boden vorhanden sein oder wird durch infiziertes Pflanzgut übertragen. [Möller et al., 2003]

Symptome an den Pflanzen sind mager Wuchs und Fehlstellen im Bestand durch verzögertes Auflaufen. Bei späterem Befall werden die Knollen stark in Mitleidenschaft gezogen. Es bilden sich schwarze Pocken oder Krusten (Sklerotien) auf den Knollen. Bei Ausprägung des sogenannten „dry core“ sind stärkere Qualitätsbeeinträchtigungen die Folge. (siehe Abb. 67) Hier dringt der Erreger bei längeren, feuchten Bodenverhältnissen in die



Dry core

Rhizoctonia-Pusteln

Abbildung 67: Symptome eines *Rhizoctonia solani*-Befalls an den Knollen. [Berner et al., 2010]

Knollen ein und verursacht bis zu 6 mm tiefe Löcher, die oft mit Drahtwurmfraß verwechselt werden. [Möller et al., 2003] Grundsätzlich tritt „dry core“ immer nur in Verbindung mit *Rhizoctonia solani* auf, umgekehrt gilt dies nicht. [Keiser et al., 2012]

Um einen Befall mit *Rhizoctonia solani* vorzubeugen, sollte man Klee gras als Vorfrucht vermeiden. Besonders nach mehrjährigem Klee gras ist das Befallsrisiko deutlich erhöht. [Keiser et al., 2012] Die Verwendung von unbefallenem Pflanzgut ist ebenso zu empfehlen. Gut vorgekeimte Pflanzknollen fördern ein rasches Auflaufen und wirken so dem Krankheitsbefall entgegen. [Berner et al., 2010]

8.2.2 Bakterielle Erkrankungen

Verglichen mit anderen pflanzenpathogenen Pilzen und Schädlingen spielen die Bakterien als Krankheitserreger in Mitteleuropa eine untergeordnete Rolle. Trotzdem können sie in Einzelfällen zu beträchtliche Schäden führen. [Börner et al., 2009]

Schäden an den Kartoffeln verursachen hauptsächlich die Arten *Erwinia carotovora* und *Streptomyces scabies*.

8.2.2.1 *Erwinia carotovora* – Erreger der Schwarzbeinigkeit und der Knollennassfäule

Das gramnegative, stäbchenförmige Bakterium *Erwinia carotovora* gehört zur Familie der Enterobacteriaceae. [Madigan et al., 2000] Es verursacht Schwarzbeinigkeit an den Pflanzen und Knollennassfäule. Eine neuere Bezeichnung für den Erreger ist *Pectobacterium* spp. [Rosenzweig et al., 2016] Ein Befall zeigt sich an vielen Fehlstellen im Bestand. Die Bakterien zerstören die Zellen des Stützgewebes in den Stängeln. An der Stängelbasis tritt eine typische Schwarzfärbung auf (siehe Abb. 68). Die Pflanzen vergilben und sterben schließlich ab. Knollen, die von Knollennassfäule befallen sind, bilden eine faule, breiige Masse. Diese wird durch das Periderm zusammengehalten, welches bei leichtem Druck platzt. [Möller et al., 2003] Typisch ist auch ein stechender Geruch, der durch bakterielle Sekundärinfektionen verursacht wird. [De Lacy Costello et al., 1999]



Abbildung 68: Schwarzbeinigkeit an Kartoffeln. [Rosenzweig et al., 2016]

Quelle für den Erreger ist ein latenter (= nicht sichtbarer) Befall des Pflanzgutes. [Möller et al., 2003] Hohe Niederschläge und niedrige Temperaturen zu Beginn des Wachstums führen zu einer verstärkten Ausbreitung der Infektion. Verletzungen während der Ernte schaffen Eintrittspforten für die Bakterien und erhöhen den Verseuchungsgrad der Knollen. Temperatur und Feuchtigkeit spielen beim tatsächlichen Ausbrechen der Fäule nach der Infektion eine entscheidende Rolle. Um einem Befall der Pflanzen und Knollen zu verhindern, verwendet man gering befallenes Pflanzgut. Bei der Ernte ist auf trockene Witterung und Schalenfestigkeit der Knollen zu achten. Im Lager sollte die Bildung von Kondenswasser durch eine gute Belüftung verhindert werden. [Rosenzweig et al., 2016]

8.2.2.2 *Streptomyces scabies* – Erreger des Kartoffelschorfes

Streptomyces scabies, der Erreger des Kartoffelschorfes, gehört zur Familie der Streptomycetaceae. Es ist ein sporenbildendes, grampositives Bakterium, das während der Reifephase kettenförmig angeordnete Sporen bildet. [Madigan et al., 2000; Börner et al., 2009]

Kartoffelschorf ist grundsätzlich in allen Anbauregionen verbreitet, besonders auf leichten Sandböden. Die Knollen weisen rissige, unregelmäßig verteilte Läsionen mit korkiger Oberfläche auf (siehe Abb. 69). Der Geschmack der Knollen wird davon nicht beeinflusst, jedoch ist das Erscheinungsbild der Knollen stark

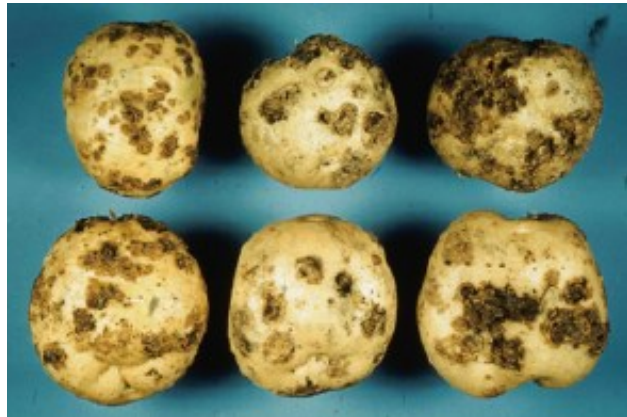


Abbildung 69: Kartoffelschorf. [Rupp und Jacobsen, 2017]

beeinträchtigt. Im Gegensatz zu anderen Bakterien bevorzugt *Streptomyces scabies* warme, trockene Bedingungen.

Ein verseuchter Boden gilt als Hauptinfektionsquelle und es werden ausschließlich heranwachsende Knollen befallen. Schon die jungen Knollen sind anfällig, die verschiedenen Typen des Schorfs prägen sich erst später aus.

Besonders empfindliche Sorten sollten nicht auf gefährdeten Standorten angebaut werden. Das Einhalten einer weiten Fruchtfolge und das Einbeziehen von Luzerne, Senf, Wicken oder Roggen können den Schorfbefall reduzieren. Dadurch kommt es im Boden zu einer Anreicherung mit antagonistisch wirksamen Bakterien, z.B. *Bacillus subtilis*. Die Bodenbearbeitung sollte auf ein Minimum beschränkt werden, um eine Erwärmung des Bodens durch eine verbesserte Durchlüftung zu vermeiden. Allerdings wird dadurch die Entstehung von anderen Schädlingen und Krankheiten begünstigt. [Möller et al., 2003]

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zur Verhinderung von Schädlingen, bakteriellen Erkrankungen und Pilzen in erster Linie vorbeugende Maßnahmen Wirkung zeigen. Gesundes Pflanzgut, weite Fruchtfolgen und die Beseitigung von

infizierten Pflanzenrückständen verhindert die Ausbreitung von Bakterien. Auch die Anwendung von Kupferpräparaten ist möglich, jedoch problematisch wegen der Anreicherung im Boden. Besonderer Bedeutung kommt der antagonistischen Bodenflora zu. [Börner et al., 2009] Sie schafft ein biologisches Gleichgewicht unter den Lebewesen im Boden. Dadurch werden bodenbürtige Schädlinge und Krankheitserreger der Kulturpflanzen unterdrückt. Diese Eigenschaft wird auch „antiphytopathogenes Potenzial“ des Bodens genannt. [Berger et al., 2007]

9 Spezielle Bedingungen im Bio-Anbau

Die Richtlinien für den Bio-Landbau sind in der EU-Verordnung (EG) Nr. 834/2007 festgeschrieben. Alle Erzeuger und Verarbeiter von biologisch produzierten Lebensmitteln verpflichten sich zur Einhaltung dieser gesetzlichen Verordnung. Darüber hinaus erfüllen sie teilweise weit strengere Verbandsrichtlinien, z.B. die Richtlinien des Verbandes BIO AUSTRIA.

Zur Erhaltung der Bodenstruktur ist die schonende Bodenbearbeitung unerlässlich. Eine gezielte Humuswirtschaft bildet die Voraussetzung für die Fruchtbarkeit und biologische Aktivität des Bodens. Die Düngung erfolgt ausschließlich mit organischem Material wie Stallmist oder Gülle. Bei mineralischer Ergänzungsdüngung müssen die Nährstoffe in organisch gebundener Form vorliegen. Pflanzenschutz sollte vorbeugend durch eine geeignete Sortenwahl, Anbau- und Kulturmethoden sowie durch die gezielte Förderung von Bodengesundheit und Nützlingen erfolgen. Der Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln, Wachstumsregulatoren, Welkemitteln sowie gentechnisch veränderten Organismen ist strengstens untersagt. Zugelassene Pflanzenschutzmittel für den biologischen Anbau sind im Bio-Austria-Betriebsmittelkatalog aufgelistet. [BIO AUSTRIA, 2018]

Das wichtigste Instrument in der biologischen Landwirtschaft ist die Fruchtfolge (siehe Kap. 7.2, S. 65). Sie leistet einen bedeutenden Beitrag für eine positive Humusbilanz. Diese beeinflusst wiederum die Ertragshöhe und –sicherheit der Ernte. Humus erhöht die Wasser- und Nährstoffbindung im Boden und sorgt für ein stabiles Bodengefüge mit guter Krümelstruktur. [Nitsch, 2003] Die Gestaltung der Fruchtfolge ist auch in der Bekämpfung des wichtigsten Schädling im biologischen Kartoffelanbau, dem Drahtwurm, von großer Bedeutung (siehe Kapitel 8.1.2, S. 75)

Durch den Verzicht auf mineralische Dünger haben die Pflanzen ein gemäßigtes Wachstum und sind widerstandsfähiger gegenüber Krankheiten. Kartoffeln aus Bioanbau sind überdies geschmacklich besser als herkömmlich kultivierte. [Bauer, 2018]

10 Konzepte für den Haushaltsökonomie und Ernährungslehre-Unterricht

In diesem Kapitel werden Konzepte vorgestellt, die das Thema *Kartoffel* in den Haushaltsökonomie- und Ernährungslehreunterricht integrieren. Im Vordergrund steht die Handlungsorientierung. Die Schülerinnen und Schüler (SuS) sollen durch ihr eigenes Handeln Zusammenhänge erarbeiten und sich emotional und kognitiv mit Unterrichtsinhalten auseinandersetzen. Die eingesetzten Methoden knüpfen an die Lebenswelt der SuS an. So ist für die Lernenden einfacher, die Inhalte im Gedächtnis zu behalten, den Sinn dahinter zu erkennen und das Gelernte auch anzuwenden.

Der Schwierigkeitsgrad der hier vorgestellten Unterrichtsmaterialien ist unterschiedlich. Manche Aufgaben erfordern viel Vorwissen, z.B. der Nachhaltigkeitsvergleich von kohlenhydratreichen Lebensmitteln. Für andere Aufgabenstellungen, z.B. die Experimente zum Stärkenachweis, braucht es besonders viel Neugier und Kreativität. Neben den Lernzielen, Aufgabenstellungen und Arbeitsblättern für die SuS sind auch fachliche und didaktische Erläuterungen für die Lehrperson enthalten. Je nach Umfang der Themen sind die Konzepte für eine oder zwei Unterrichtseinheiten gestaltet. Die Reihung der Konzepte folgt keinem bestimmten Muster.

10.1 Die Kartoffelpflanze

Dieses Konzept soll den SuS die Merkmale und das Wachstum einer Kartoffelpflanze näher bringen. Den Lernenden soll bewusst werden, woraus eine Pflanze entsteht, wozu die Pflanze die verschiedenen Organe braucht und wie es zur Knollenbildung kommt. Dazu ist es ideal, eine voll entwickelte Pflanze in die Klasse mitzubringen. So können die SuS das Interessensobjekt „angreifen“ und hautnah erleben.

Wenn es nicht möglich ist, eine Pflanze beschaffen, so kann den SuS als Ersatz ein Video gezeigt werden, in welchem das Wachstum der Kartoffelpflanze erklärt wird (<https://dkhv.org/index.php/medien/infothek>). Besonders leistungsstarke SuS können als Zusatzaufgabe die Stärkeeinlagerung anhand der Photosynthese ableiten. Voraussetzung dafür ist Vorwissen aus dem Biologieunterricht.

Lernziele

Die SuS können...

- die verschiedenen Teile der Kartoffelpflanze nennen
- das Wachstum der Pflanze erklären
- die Bildung der Knollen bzw. die Einlagerung der Stärke anhand der Photosynthese ableiten und erläutern (mit Vorwissen aus Biologie)

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einstieg	5	Lehrperson zeigt den SuS die Pflanze, erklärt das Thema der Einheit.		Plenum
Erarbeitung	25	Die SuS erarbeiten gemeinsam die verschiedenen Organe der Pflanze, die Lehrperson gibt Hilfestellungen. Zusatzaufgabe: die SuS sollen die Einlagerung der Stärke in die Knollen anhand der Photosynthese ableiten und erläutern.	Kartoffelpflanze (voll entwickelt), Tuch oder Karton zum Unterlegen für die Pflanze	Gruppenarbeit
Sicherung	20	Die SuS beschriften die Pflanzen auf	AB	Einzelarbeit/ Partnerarbeit/

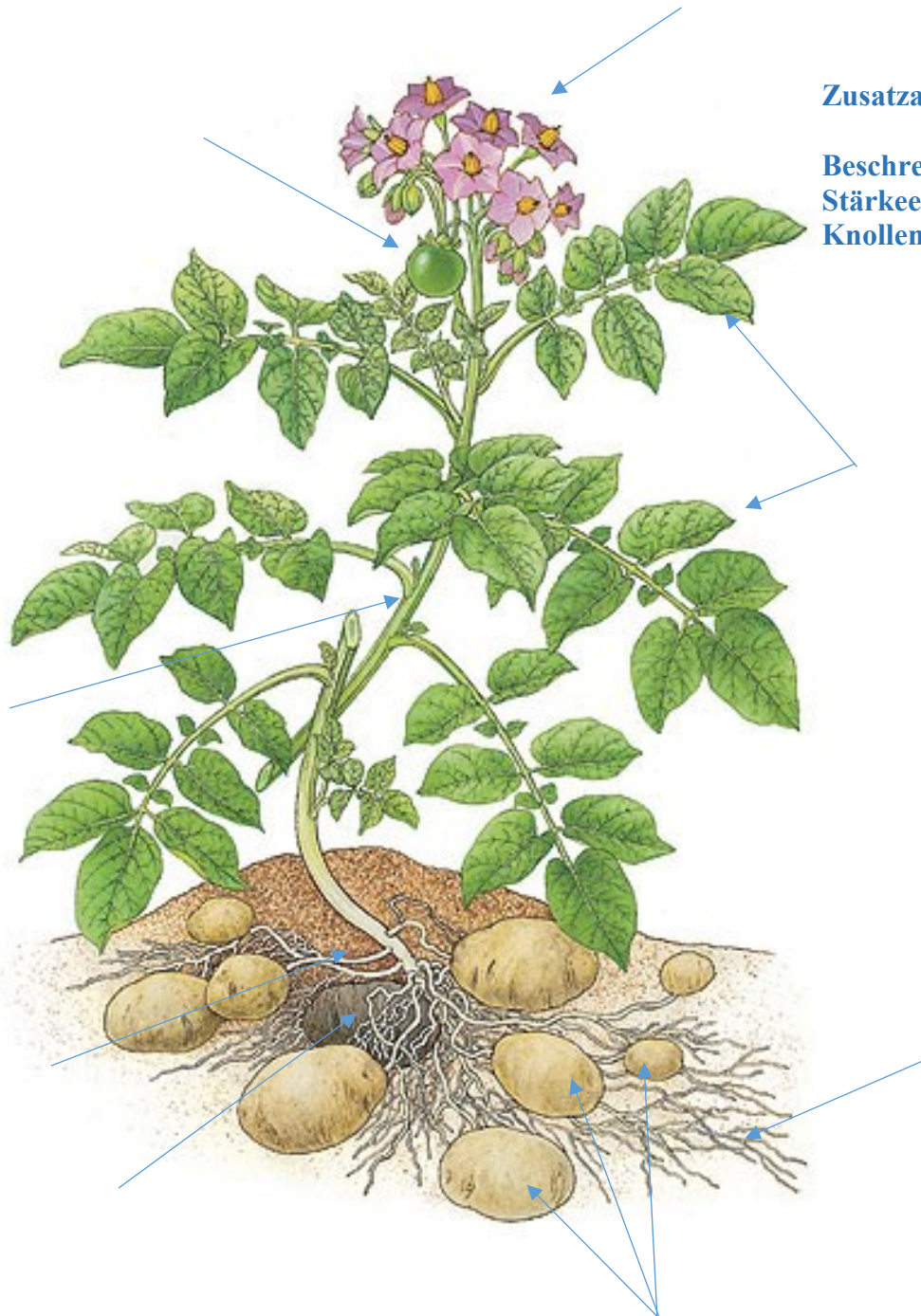
		ihrem AB und vergleichen die Ergebnisse mit ihrem Partner. Die Zusatzaufgabe wird vor der Klasse präsentiert.		Plenum
--	--	---	--	--------

Erläuterungen zur Zusatzaufgabe

Wie funktioniert die Stärkeeinlagerung in den Knollen?

Durch die Photosynthese wird in den Chloroplasten der Blätter Glucose gebildet. Bei Licht (Tag) wird diese in einen speziellen Stärketyp umgewandelt (Assimilationsstärke). Bei Dunkelheit (Nacht) wird diese Stärke in Saccharose (Transportform) umgewandelt und im Phloem (Leitsystem der Pflanzen) weitertransportiert. Zielort sind Organe, die Energie verbrauchen oder Speicherfunktion haben, selbst aber keine Photosynthese betreiben können – wie z.B. Knollen, Wurzeln, Früchte oder Knospen. Früchte speichern die Saccharose und schmecken folglich süß, Knollen und Wurzeln wandeln sie in Stärke um und speichern diese. Der Transport von Produkten vom Bildungs- zum Verbrauchsort wird auch „source-to-sink“-Transport genannt. [Weiler et al., 2008]

Beschrifte die verschiedenen Organe der Pflanze und achte dabei auf die genauen Bezeichnungen! Vergleiche deine Antworten anschließend mit deinem Partner.

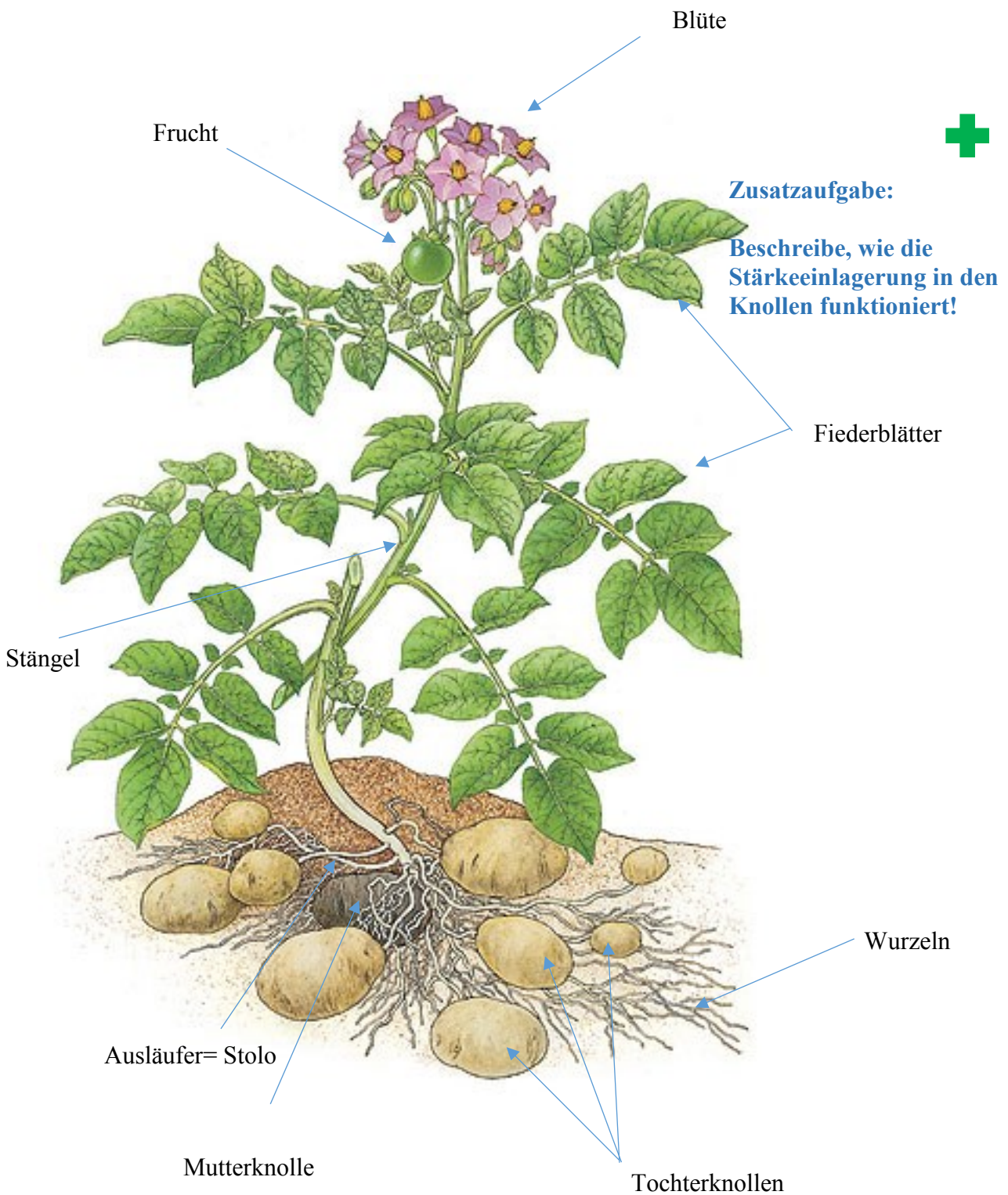


Zusatzaufgabe:



Beschreibe, wie die Stärkeeinlagerung in den Knollen funktioniert!

Bildquelle: https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Gymnasium&artikel_id=89398&inhalt=klett71prod_1.c.151300.de



Bildquelle: https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Gymnasium&artikel_id=89398&inhalt=klett71prod_1.c.151300.de

10.2 Die Kartoffel – vom Anbau bis zur Ernte

Dieses Konzept dient dazu, den SuS einen Einblick in das praktische Thema „Kartoffelanbau“ zu geben. Die Materialien sind eher für jüngere SuS gedacht, da sie recht einfach gestaltet sind. Die Aufgaben werden in Gruppen bzw. im Plenum ausgeführt. Die Gruppenarbeit ist eine Sozialform, die durch geschickte Planung und Eingliederung in den Unterricht zu einem wertvollen Lernerfolg bei den SuS führen kann. Wichtig sind genaue Aufgabenstellungen und Anweisungen durch die Lehrperson und eine einfache Sprache bei den verwendeten Materialien.

Lernziele

Die SuS können...

- verschiedene Arbeitsschritte aus dem Lebenszyklus der Kartoffel nennen
- die chronologische Abfolge der Ereignisse ermitteln
- Abbildungen den entsprechenden Texten zuordnen
- Aufgaben gemeinsam ausführen und Meinungen in der Gruppe diskutieren

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einstieg	10	Positionslinie: die Lehrperson liest verschiedene Aussagen vor, die SuS positionieren sich an einer fiktiven Linie je nach Grad des Zutreffens.	/	Plenum
Erarbeitung + Sicherung	40	siehe unten	ausgedruckte Bilder und Textgrundlagen, Tafel, Magnete, evt. Pinnwand	Plenum

Einstieg - Positionslinie:

Für diese Methode benötigt man genügend Platz, entweder im Klassenraum oder im Freien/am Gang/etc. Sie dient dazu, die SuS zum Nachdenken anzuregen und evt. vorhandenes Wissen über das bevorstehende Thema ins Gedächtnis zu rufen. Es wird eine fiktive Linie festgelegt und die Endpunkte als „trifft zu“/„trifft nicht zu“ definiert. Die Lehrperson liest anschließend folgende Aussagen vor und die SuS positionieren sich auf der Linie.

Aussagen:

Ich wohne in der Stadt/in einem ländlichen Gebiet.

Meine Eltern arbeiten in der Landwirtschaft.

Ich habe Verwandte (z.B. Großeltern), die in der Landwirtschaft arbeiten.

Ich habe selbst schon bei landwirtschaftlichen Arbeiten mitgeholfen.

Ich war schon einmal auf einem Bauernhof/Landwirtschaftsbetrieb.

Ich weiß wie Kartoffeln angebaut werden.

Ich habe schon einmal ein Kartoffelfeld gesehen.

Ich habe schon einmal beim Ernten der Kartoffeln zugesehen.

Erarbeitungsphase:

Die Lehrperson bringt die ausgedruckten Bilder (ideal wäre ein A5/A4-Format) mit. Die SuS erhalten jeweils zu zweit/dritt einen Text. Nun liest jede Kleingruppe den Text vor und die SuS ordnen sich in chronologischer Reihenfolge nach ihren Textpassagen. Danach werden die Bilder an die Tafel gehängt, die Gruppen suchen sich „ihr“ Bild und fügen den Text hinzu. Idealerweise werden die Bilder mit den zugehörigen Textpassagen in der Klasse auf einer Pinnwand befestigt, damit immer wieder darauf Bezug genommen werden kann, bzw. die Informationen länger zur Verfügung stehen.

Fotos: C. Bauer, 2017 und 2018.





<p>Vorbereitung des Bodens: auf dem Feld werden Dämme gezogen. Die Erde sollte frei sein von Steinen und größeren Erdklumpen. Zeitraum: März-April</p>	<p>Mit der Kartoffellegemaschine werden die Kartoffeln in gleichmäßigem Abstand in die Erde gelegt. Nun dauert es 2 bis 3 Wochen, bis sie Wurzeln bilden und der neue Trieb aus der Erde wächst.</p>
<p>Die Kartoffeln haben schon Wurzeln und Triebe gebildet.</p>	<p>Die Triebe durchbrechen die Erdoberfläche und der Blattapparat entwickelt sich.</p>
<p>Die Pflanzen werden größer und beginnen zu blühen. Unterirdisch werden Stolonen = Ausläufer gebildet.</p>	<p>Die Stolonen = Ausläufer verdicken sich und bilden neue Kartoffeln. Nun braucht die Pflanze regelmäßig Wasser.</p>
<p>Damit die Reihen unkrautfrei bleiben, müssen bis zum Bestandesschluss immer wieder Pflegearbeiten durchgeführt werden. Bestandesschluss heißt, dass sich die Pflanzen der Reihen berühren. Würde man hier mit dem Traktor durchfahren, wäre die Verletzungsgefahr der Pflanzen sehr hoch.</p>	<p>Frühe Sorten können jetzt schon geerntet werden. Die Kartoffeln werden als „Heurige“ oder „Frühkartoffeln“ verkauft.</p>

<p>Es kann zu einem Befall mit Kartoffelkäfern kommen. Diese legen ihre Eier an die Unterseite der Blätter. Nachdem die Larven geschlüpft sind, fressen sie die Blätter und Stängel der Kartoffelpflanzen. Als Gegenmaßnahmen können die Käfer und Larven händisch oder mechanisch abgesammelt werden. Es gibt auch (biologische) Insektizide, die der Landwirt anwenden kann.</p>	<p>Die Pflanzen beginnen abzusterben. Die Blätter verfärben sich gelb bzw. braun, die Stängel werden welk und trocknen später aus.</p>
<p>Sobald die Pflanzen abgestorben und ausgetrocknet sind, kann mit der Ernte begonnen werden. Meist findet die Ernte in den Monaten September bis Oktober statt. Der Boden sollte dabei keinesfalls nass sein, da die Kartoffeln sonst leicht beschädigt werden können und es zu Bodenverdichtungen kommt.</p>	<p>Die Ernte erfolgt mit dem Kartoffelroder. Dieser nimmt die Kartoffeln auf, das Kraut (= oberirdische Teile der Pflanze) und Unkräuter werden abgeschnitten. Verschiedene Mechanismen sieben Erdklumpen, Steine und Pflanzenteile aus, die Kartoffeln werden auf ein Sortierband transportiert. Dort werden faule Kartoffeln, Steine, etc. von Hand aussortiert. Auf einem Förderband werden die Kartoffeln in einen Vorratsbehälter transportiert.</p>
<p>Die geernteten Kartoffeln werden in Kisten umgeladen und eingelagert. Bei guter Lagerung behalten sie ihre Qualitätseigenschaften bis ins Frühjahr.</p>	

10.3 Die Kartoffel im Stärketest

Dieses Konzept besteht aus zwei Experimenten. Beim ersten Experiment wird die Kartoffel in ihre Einzelbestandteile „zerlegt“, um die vorhandene Stärke herauszufiltern. Beim zweiten Experiment wird die Stärke mithilfe einer Iod-Kaliumiodid-Lösung (Lugol'sche Lösung) sichtbar gemacht. Zusätzlich wird das

gleiche Experiment auch mit Traubenzucker (Glucose) durchgeführt, um einen Vergleich zwischen Mono- und Polysacchariden herzustellen. Je nach Vorhandensein der benötigten Materialien kann auch nur eines der beiden Experiment durchgeführt werden, da beide auf das gleiche Ergebnis abgestimmt sind. Die Experimente sollen die Lernenden zur Selbsttätigkeit im Unterricht anregen. Durch Probieren und Untersuchen werden neue Sachverhalte entdeckt.

Lernziele

Die SuS können...

- anhand eines Experiments Sachverhalte ableiten
- Ergebnisse von Experimenten visualisieren
- Monosaccharide (z.B. Glucose) und Polysaccharide (z.B. Stärke) vergleichen und Unterschiede ermitteln
- den Stärkenachweis mit Lugol'scher Lösung erklären

10.3.1 Kartoffelgeheimnis

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einstieg	5	Die SuS stellen Vermutungen über die Inhaltsstoffe der Kartoffel auf.		Plenum
Erarbeitung	25	Die SuS arbeiten in Kleingruppen am Experiment. Die Lehrperson gibt Hilfestellungen.	siehe Beschreibung	Gruppenarbeit
Sicherung	15	Die SuS gestalten ein Plakat, das den Ablauf des Experiments darstellt. Diese Aufgabe dient zur Ergebnissicherung (weitere Infos siehe S. 97)	Plakat, Plakatstifte	Gruppenarbeit
Abschluss	10	Alle benötigten Materialien werden gewaschen/entsorgt.	Spülmittel, Tücher	Plenum

Die benötigten Materialien für das Experiment „Kartoffelgeheimnis“ sind:

Kartoffeln, evt. Sparschäler, Reibe, je 2 Schüsseln und ein Tuch pro Kleingruppe, Spülmittel, Tücher; Plakate und Plakatstifte

Durchführung:

Die SuS schälen und reiben die Kartoffel in eine Schüssel. Anschließend geben sie die geriebene Kartoffel auf ein Tuch und pressen den flüssigen Anteil heraus. Nun wird etwa 20 min gewartet. Die Gruppen führen das Experiment hintereinander durch, die wartenden Gruppen können inzwischen mit der Bearbeitung des Plakats beginnen. Nach etwa 20 Minuten wird die Flüssigkeit vorsichtig abgekippt und die Stärke bleibt in der Schüssel zurück. Nach der Ergebnissicherung werden alle Materialien abgewaschen und die Reste der Kartoffeln entsorgt.

Mit diesem Experiment kannst du das Geheimnis der Kartoffel lüften. Zerleg sie in ihre Einzelbestandteile und sei gespannt!

1. Experiment

Du brauchst: eine Kartoffel, evt. einen Sparschäler, eine Reibe, zwei Schüsseln und ein Tuch

Anleitung:

1. Schäle die Kartoffel.
2. Reib die Kartoffel in eine Schüssel.
3. Lege das Tuch über die zweite Schüssel und gib die geriebene Kartoffel darauf.
4. Presse nun das Geriebene aus und fang die Flüssigkeit in der ersten Schüssel auf.
5. Nun musst du 20 Minuten warten. In der Zwischenzeit kannst du gemeinsam mit deiner Gruppe mit der Gestaltung des Plakats (Vorgaben siehe unten) beginnen!
6. Gieße nun die Flüssigkeit ab. Was bleibt in der Schüssel zurück? Berate dich mit deinen GruppenkollegInnen.
7. Reinige alle verwendeten Materialien, entsorge die Reste der Kartoffeln und säubere deinen Arbeitsplatz.

2. Gestalte ein Plakat!

Stelle gemeinsam mit deiner Gruppe den Ablauf des Experiments so kreativ wie möglich dar. Stifte und Papier bekommt ihr von eurer Lehrperson. Das Ergebnis sollte einen besonderen Platz auf eurem Plakat erhalten!

10.3.2 Kartoffeldetektive

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einstieg	5	Die SuS stellen Vermutungen über die Inhaltsstoffe der Kartoffel auf.		Plenum
Erarbeitung	25	Die SuS arbeiten in Kleingruppen am Experiment. Die Lehrperson gibt Hilfestellungen.	siehe Beschreibung	Gruppenarbeit
Sicherung	15	Die SuS füllen das Arbeitsblatt aus.	Arbeitsblatt	Gruppenarbeit
Abschluss	10	Alle benötigten Materialien werden gewaschen/entsorgt.	Spülmittel, Tücher	Plenum

Die benötigten Materialien für das Experiment „Kartoffeldetektive“ sind:

Halbierte Kartoffeln, Traubenzucker, 2 Schüsseln pro Gruppe, Iod-Kaliumiodid-Lösung (Lugol'sche Lösung), Schutzbrille, Papiertücher

Durchführung des Stärkenachweises mit Lugol'scher Lösung:

Die SuS erhalten in den Kleingruppen je eine Kartoffelhälfte und legen diese in die Schüssel. In die zweite Schüssel gibt man etwa 1 EL Traubenzucker. Nun wird etwas Lugol'sche Lösung auf die Kartoffel und den Traubenzucker getropft. Die SuS beobachten die Veränderungen und notieren sie auf ihrem Arbeitsblatt.

Bei diesem Experiment kannst du deine Fähigkeiten als DetektivIn unter Beweis stellen!

1. Experiment

Du brauchst: eine Kartoffelhälfte, Traubenzucker (Glucose), zwei Schüsseln, eine Schutzbrille, Lugol'sche Lösung, Papiertücher

Anleitung:

1. Leg die Kartoffelhälfte in die erste Schüssel. Gib 1 Esslöffel Traubenzucker in die zweite Schüssel.
2. Setze nun deine Schutzbrille auf.
3. Gib ca. 5 Tropfen der Lugol'schen Lösung auf die Kartoffelhälfte und zum Traubenzucker. Sei hier besonders vorsichtig, damit die Lösung nicht in Kontakt mit deiner Haut kommt.
4. Beobachte die Veränderungen bei Kartoffel und Traubenzucker. Warte einige Minuten, bevor du deine Beobachtungen aufschreibst.

2. Dokumentation deiner Beobachtungen

Was hat sich verändert? Beschreibe genau, was du beobachtet hast. Wenn du dich gut auskennst, kannst du auch schon die Erklärung aufschreiben. Besprich dich jedoch vorher mit deinen GruppenkollegInnen.

Beobachtungen:

Erklärung:

Zusatzaufgabe: Vergleiche die Eigenschaften folgender Kohlenhydrate:

- Traubenzucker = Glucose (*Monosaccharid*):
- Stärke (*Polysaccharid*):

Bei diesem Experiment kannst du deine Fähigkeiten als DetektivIn unter Beweis stellen!

1. Experiment

Du brauchst: eine Kartoffelhälfte, Traubenzucker (Glucose), zwei Schüsseln, eine Schutzbrille, Lugol'sche Lösung, Papiertücher

Anleitung:

1. Leg die Kartoffelhälfte in die erste Schüssel. Gib 1 Esslöffel Traubenzucker in die zweite Schüssel.
2. Setze nun deine Schutzbrille auf.
3. Gib ca. 5 Tropfen der Lugol'schen Lösung auf die Kartoffelhälfte und zum Traubenzucker. Sei hier besonders vorsichtig, damit die Lösung nicht in Kontakt mit deiner Haut kommt.
4. Beobachte die Veränderungen bei Kartoffel und Traubenzucker. Warte einige Minuten, bevor du deine Beobachtungen aufschreibst.

2. Dokumentation deiner Beobachtungen

Was hat sich verändert? Beschreibe genau, was du beobachtet hast. Wenn du dich gut auskennst, kannst du auch schon die Erklärung aufschreiben. Besprich dich jedoch vorher mit deinen GruppenkollegInnen.

Beobachtungen:

Das Speicherparenchym der Kartoffel färbt sich blau bzw. schwarz – ein Nachweis für die enthaltene Stärke. Der Traubenzucker zeigt keine Blaufärbung.

Erklärung:

Die in der Kartoffel vorhandene Stärke weist eine Helix-Struktur aus speziell miteinander verknüpften Glucose-Molekülen auf. In diese können sich andere Moleküle einlagern – in diesem Fall Jod. Der Traubenzucker weist keine Helixstruktur auf, es können sich keine Moleküle einlagern, daher kommt es zu keiner Blaufärbung.

Zusatzaufgabe:

Die Glucose schmeckt süß – ein typisches Merkmal für Monosaccharide; einfache Struktur ($C_6H_{12}O_6$), wasserlöslich.

Die Stärke schmeckt nicht süß - typisch für Polysaccharide. Sie besitzt eine komplexe Helixstruktur und quillt in Wasser auf.

10.4 Inhaltsstoffe der Kartoffel

Dieses Konzept soll den Lernenden die Inhaltsstoffe der Kartoffelknollen näher bringen. Zusätzlich werden deren Funktionen und Wirkungen auf den menschlichen Organismus wiederholt.

Lernziele

Die SuS können...

- die Inhaltsstoffe der Kartoffel nennen
- die Inhaltsstoffe der Kartoffel nach Vorkommen in der Knolle ordnen
- die Funktionen der verschiedenen Inhaltsstoffe im menschlichen Organismus erläutern

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einstieg	5	Brainstorming: die SuS schreiben alle Nährstoffe, die sie kennen, an die Tafel. Anschließend werden die genannten Wörter gemeinsam kontrolliert und in Makro- und Mikronährstoffe eingeteilt.		Plenum
Erarbeitung	30	Die SuS erarbeiten das Arbeitsblatt (AB), siehe S. 102, Lösung auf S. 103, selbständig.	AB, Lehrbuch	Einzelarbeit
Sicherung	15	Die Arbeitsblätter werden in Kleingruppen verglichen. Die Lehrperson gibt eventuell fehlende Auskünfte zu den Funktionen der unterschiedlichen Inhaltsstoffe.		Gruppenarbeit/ Plenum

Zeichne die verschiedenen Inhaltsstoffe je nach der Menge, in der sie in der Kartoffel vorkommen, ein (siehe Tabelle). Beschrifte die unterschiedlichen Anteile.



Foto: C. Bauer, 2018

Erläutere die wichtigsten Funktionen der Inhaltsstoffe im menschlichen Organismus. Du kannst dafür dein Buch zu Hilfe nehmen.

Inhaltsstoff	Vorkommen in %	Funktion im menschlichen Organismus
Wasser	75-80	
Stärke	15-20	
Ballaststoffe	2	
Eiweiß	2	
Vitamine	1	
Mineralstoffe	1	

Zeichne die verschiedenen Inhaltsstoffe je nach Mengenvorkommen in der Kartoffel ein (siehe Tabelle). Beschrifte die unterschiedlichen Anteile.

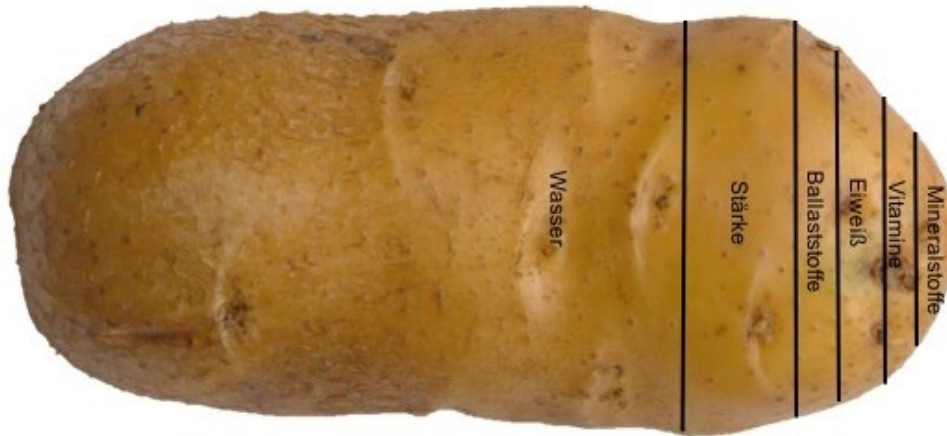


Foto: C. Bauer, 2018

Inhaltsstoff	Vorkommen in %	Funktion im menschlichen Organismus
Wasser	75-80	Aufbau und Erhaltung des Körpers, Transportmittel, z.B. für wasserlösliche Vitamine, Lösungsmittel, Wärmeregulation
Stärke (Kohlenhydrate)	15-20	Kohlenhydrate liefern dem Körper Energie. Diese benötigt er für den Stoffwechsel, die Erhaltung der Körpertemperatur, usw.
Ballaststoffe	2	Anregung der Kautätigkeit – Verminderung des Kariesrisikos, verzögerte Magenentleerung, längeres Sättigungsgefühl, geringere Nährstoffdichte der Nahrung, Wachstum der Darmbakterien begünstigt – Darmflora positiv beeinflusst, gleichmäßige Kohlenhydratresorption – benötigte Insulinmengen zur Regulation des Blutglucosespiegels verringert
Eiweiß	2	Baustoffe für Enzyme, Transportproteine, z.B. Hämoglobin, Speicherproteine, Bewegungsproteine, z.B. Myosin in Muskeln, Antikörper in der Immunabwehr, Übertragung von Nervenimpulsen
Vitamine	1	Bestandteile von Coenzymen – Katalysatoren im Zellstoffwechsel; spezifische Funktionen von Retinol, Ascorbinsäure, Calciferol, Tocopherol
Mineralstoffe	1	Bestandteile von Knochen und Zähnen – Stützfunktion, als Elektrolyte beeinflussen sie physikalische und biochemische Eigenschaften der Körperflüssigkeiten (osmotischer Druck, Elektroneutralität, Puffersysteme)

10.5 Der Kartoffel-Speiseplan (inkl. Ernährungstagebuch)

Dieses Konzept soll die Vielfalt der Kartoffel und ihrer Zubereitungsarten aufzeigen. Neben der kreativen Ideensammlung geht es auch um die ernährungsphysiologische Bewertung der Kartoffelgerichte. Die Erarbeitung der Aufgaben erfordert viel Vorwissen zu Mikro- und Makronährstoffen, deshalb ist das Konzept eher für ältere SuS gedacht.

Das Führen eines Ernährungstagebuches ist eine aufwändige, aber effektive Methode, um das eigene Ernährungsverhalten zu reflektieren. Die SuS sollen dazu angeregt werden, den ernährungsphysiologischen Wert ihrer (Kartoffel-)Mahlzeiten zu bewerten und sie gegebenenfalls durch höherwertige Gerichte zu ersetzen. Diese Aufgabe trainiert die Sachkompetenz, die Lernenden sollen ihr Wissen anwenden und Zusammenhänge herstellen. Zusätzlich wird die Ausbildung der Selbstkompetenz gefördert, indem die SuS die Aufgaben selbständig und effektiv bearbeiten.

Das Konzept ist für zwei Unterrichtseinheiten konzipiert. In der ersten Einheit werden die SuS an das Thema herangeführt und auf die Erarbeitung des Ernährungsprotokolls vorbereitet.

Lernziele

Die SuS können...

- ihr eigenes Essverhalten dokumentieren und reflektieren
- Gerichte nach verschiedenen (u.a. ernährungsphysiologischen) Gesichtspunkten beurteilen
- eine Übersicht mit alternativen (höherwertigen) Gerichten aufstellen

1. Unterrichtseinheit

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einstieg	10	Impulsbuchstaben: das Impulswort Kartoffel wird vertikal in der Mitte eines Blattes notiert, die SuS integrieren die Buchstaben des Impulswortes in Wörter	Schreibmaterialien	Einzelarbeit, Plenum

		(Kartoffelgerichte), die ihnen dazu einfallen. Anschließend lesen die SuS ihre Gerichte vor.		
Erarbeitung	30	Jeweils 4-5 Personen bilden eine Gruppe. Sie suchen sich 2 genannte Kartoffelgerichte aus und bewerten diese nach dem unten stehenden Schema. Die Ergebnisse der Bewertung notiert jede/r auf einem Blatt, das später in die Mappe eingeordnet wird.	Schreibmaterialien	Gruppenarbeit
Sicherung/ Vorbereitung der HÜ	10	Die Lehrperson erklärt den SuS die HÜ (Ernährungsprotokoll).	Arbeitsblatt	Plenum

Bewertung der Kartoffelgerichte:

Folgende Fragen kann man bei der Bewertung stellen:

- Wie wird das Gericht zubereitet? (gekocht, gedämpft, gebraten, gebacken, frittiert,...) Wie wirkt sich die Garmethode auf den Makro- und Mikronährstoffgehalt aus?
- Besteht das Gericht nur aus Kartoffeln oder gibt es weitere Zutaten? Wird der ernährungsphysiologische Wert dadurch erhöht/vermindert?
- Ist das Gericht eine Beilage oder ein Hauptgericht?
- Schwierigkeitsgrad der Zubereitung
- Bekanntheitsgrad
- Beliebtheitsgrad

Die von den SuS durchgeführte Bewertung soll als Anhaltspunkt für die Evaluierung des Ernährungsprotokolls dienen. Die Lernenden sollen den Wert der (Kartoffel-) Gerichte hinterfragen, die sie konsumieren, und anschließend Alternativen erarbeiten. Wichtig ist dabei, die SuS darauf hinzuweisen, dass man stets auf eine ausgewogene Ernährung achten sollte. Das bedeutet nicht, dass man jedes kalorienreiche durch ein kalorienarmes Gericht ersetzen sollte. Jedoch sollte eine adequate Nährstoffversorgung gewährleistet werden. Die Einstiegsmethode fungiert als Ideenpool für die Bearbeitung des Ernährungsprotokolls.

Das Ernährungsprotokoll wird bewusst anonym geführt, damit die Auswertung in der zweiten Stunde keine Probleme innerhalb der Klasse verursacht.

Ernährungsprotokoll

- Notiere in der Tabelle eine Woche lang jeden Tag die Speisen und Getränke, die du gegessen und getrunken hast.
- Schreibe in ersten Spalte den jeweiligen Wochentag dazu.
- Achte auf eine möglichst genaue Nennung der Gerichte, beziehe auch Beilagen mit ein.
- Schreibe die ungefähre Menge der konsumierten Nahrungsmittel und Getränke dazu.
- Vergiss nicht auf Snacks und Zwischenmahlzeiten.

Das Protokoll wird anonym geführt, schreibe also deinen Namen nicht auf den Zettel!



Grafik: C. Bauer, 2018

Ernährungsprotokoll						
Tag	Frühstück	Vormittagssnack	Mittagessen	Nachmittagssnack	Abendessen	Sonstiges
1						
2						
3						
4						

5						
6						
7						

2. Unterrichtseinheit

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einführung	5	Die Lehrperson sammelt die ausgefüllten Ernährungsprotokolle ein und bespricht kurz die folgenden Aufgaben.		Plenum
Erarbeitung	45	Gruppenbildung zu je 4-5 Personen (Vorgangweise siehe unten). Erarbeitung der Arbeitsaufträge.	Ernährungsprotokolle, Arbeitsauftrag	Gruppenarbeit

Im Anschluss an diese Einheit sollte noch eine Präsentationseinheit eingeplant werden. Diese wird jedoch hier nicht angeführt. Möglich wären z.B. die Gestaltung von Plakaten, Power-Point-Präsentationen etc.

Gruppenbildung: Jede Ecke des Klassenraumes bzw. Tischreihe steht für ein anderes Kartoffelgericht (z.B. Kartoffelknödel, Kartoffelsalat,...). Die SuS stellen sich zu dem Gericht (Ecke), das sie am liebsten mögen. Je nach Anzahl der SuS gibt es 5-7 Gerichte, sodass Gruppen von 4-5 Personen entstehen. Jede Gruppe bekommt nun eines der eingesammelten Protokolle.

Arbeitsauftrag:

- Notiert alle im Ernährungsprotokoll vorkommenden Kartoffelgerichte auf einem Zettel.
- Bewertet die Gerichte nach dem Schema aus der letzten Unterrichtseinheit.
- Für jene Gerichte, deren ernährungsphysiologischer Wert optimiert werden könnte: entwickelt eine Alternative durch Hinzufügen von Zutaten bzw. Ersetzen durch ein anderes Gericht.
- Für jene Gerichte, deren ernährungsphysiologischer Wert bereits optimal ist: bewertet sie und erläutert die Vorteile.

10.6 Vitamin C in der Kartoffel

Dieses Konzept soll Informationen zu Vitamin C vermitteln. Anhand der Methode „Gruppenpuzzle“ erarbeiten die SuS Wissenswertes zu chemischen Eigenschaften und Funktionen, Mangelerscheinungen, Zufuhrsempfehlungen und Vorkommen von Vitamin C. Durch die Zusammenarbeit in der Gruppe wird die Sozialkompetenz der Lernenden gefördert. In einem Experiment am Ende der Unterrichtseinheit können die SuS selbst mithilfe von Teststreifen Ascorbinsäure in verschiedenen Lebensmitteln nachweisen.

Lernziele

Die SuS können...

- die wichtigsten Aussagen aus Texten zusammenfassen
- die Bedeutung von Vitamin C in der Bekämpfung von Skorbut erläutern
- chemische Eigenschaften und Funktionen von Ascorbinsäure nennen
- Vorkommen in Lebensmitteln und Zufuhrsempfehlungen von Vitamin C angeben
- Vitaminverluste, die bei der Zubereitung entstehen, erklären

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einführung	5	Direkter Einstieg: Lehrperson nennt das Thema der Einheit und leitet zum Gruppenpuzzle über.		Plenum
Erarbeitung 1	30	Gruppenpuzzle	Texte zu Vitamin C	Gruppenarbeit
Erarbeitung 2	15	Während die SuS am Gruppenpuzzle arbeiten, bereitet die Lehrperson die Vitamin-C-Bestimmung vor.	Vitamin C-Teststreifen, verschiedene Lebensmittel DACH Referenzwerte	Plenum

Gruppenpuzzle:

Die SuS bekommen die Texte A-D (siehe unten) ausgeteilt. Die Texte sind zusätzlich mit Stammgruppennummern versehen. Nun liest sich jede/r seinen/ihren Text durch und unterstreicht die wichtigsten Begriffe. Anschließend kommen die SuS in den Stammgruppen zusammen (alle mit Text A bilden eine Gruppe usw.) und besprechen

gemeinsam den Text und die unterstrichenen Aussagen. Dann finden sich jeweils die Personen mit der gleichen Stammgruppennummer zusammen (z.B. A1, B1, C1, D1; A2, B2, C2, D2; etc.) und bilden die Expertengruppen. Jetzt geht es darum, den anderen Experten die wichtigsten Aussagen aus dem eigenen Text vorzustellen. Zum Schluss treffen sich die SuS wieder in den Stammgruppen und fassen das neu Gelernte zusammen.

Bei dieser Methode ist es sinnvoll, Tische zu Gruppen zusammen zu stellen, an denen die SuS gut zusammenarbeiten und miteinander sprechen können. Das Besondere am Gruppenpuzzle ist, dass jede/r Lernende an der Weitergabe und am Austausch von Wissen beteiligt ist.

Texte für das Gruppenpuzzle:

A 1 Vitamin C Das Vitamin der Seefahrer

Skorbut – die gefürchtete Seemannskrankheit kostete Tausenden das Leben. Kapitän Vasco da Gama verlor 1497 bei der Umsegelung des Kaps der guten Hoffnung einen Großteil seiner Besatzung. Die anfangs noch rätselhafte Krankheit führte zu „angeschwellenen Beinen, Muskelschwund, stinkenden Mündern, faulen Zähnen, blutiger Haut“ (*Jacques Cartier, Logbuch*) und schließlich zum Tod. [Hofheinz et al., 2016] Später erkannte man die Wirkung von frischem Obst für die Behandlung von Skorbut. Besonders Kartoffeln und Sauerkraut spielte durch ihren hohen Vitamin C-Gehalt und der guten Haltbarkeit eine bedeutende Rolle in der Seefahrt.

Ein Mangel des Vitamins (Hypovitaminose) äußert sich in Schwäche, Müdigkeit, Depression, Gelenkschmerzen, verzögerter Wundheilung, entzündeten, blutendem Zahnfleisch und Hautblutungen. [Elmadfa und Leitzmann, 2015]

B 1 Vitamin C Chemie und Funktionen im Organismus

Die Bezeichnung Vitamin C umfasst alle Komponenten mit gleichwertiger biologischer und physiologischer Aktivität wie Ascorbinsäure. Das sind hauptsächlich die L-Ascorbinsäure und die oxidierte Form L-Dehydroascorbinsäure. Der Mensch kann das Vitamin nicht selbst synthetisieren und muss es daher mit der Nahrung zuführen. Im Organismus dient Ascorbinsäure bei verschiedenen Reaktionen als Wasserstoff- und Elektronendonator. Es ist an der Kollagenbiosynthese beteiligt, steigert die

Eisenresorption und –verwertung, hemmt die Bildung von Nitrosaminen und fördert die Antikörperbildung. [Schlieper, 2007]

C 1 Vitamin C Vorkommen und Zufuhrempfehlungen

Die besten Vitamin C- Lieferanten sind frisches Obst und Gemüse und daraus hergestellte Säfte und Smoothies. Besonders hohe Gehalte haben Sanddornbeerensaft, Paprika, schwarze Johannisbeeren und frische Petersilie. Aber auch Zitrusfrüchte, Kohlgemüse und besonders Kartoffeln leisten einen wichtigen Beitrag zur Versorgung mit Vitamin C. Aufgrund der Verwendung von Ascorbinsäure als Antioxidationsmittel kommt das Vitamin auch in verarbeiteten Lebensmitteln wie Fleisch- und Wurstwaren vor. [DGE et al., 2015]

Tragt die fehlenden Werte in die Tabelle ein. Informationen dazu findet ihr auf der Homepage der DGE.

DACH-Referenzwerte für die empfohlene Zufuhr von Vitamin C (mg/Tag):

	m	w
<u>Kinder und Jugendliche (13 bis unter 15 Jahre)</u>		
<u>Kinder und Jugendliche (15 bis unter 19 Jahre)</u>		
<u>Erwachsene</u>		
<u>Raucher/innen</u>		
<u>Schwangere</u>		
<u>Stillende</u>		

D 1 Vitamin C Verluste durch Lagerung und Zubereitung

Bei der Verarbeitung von Lebensmitteln ist besonders zu beachten, dass das Vitamin C wasserlöslich ist. Auch durch Oxidation sind Verluste möglich. Diese wird durch Temperatur und Sauerstoff beschleunigt. Daher sollten Vitamin-C-haltige Lebensmittel besonders schonend gegart werden. Am Beispiel der Kartoffel kann der Vitaminverlust reduziert werden, indem die Knollen ganz und ungeschält gedämpft werden. Gemüse sollte blanchiert werden, um der enzymatischen Vitamin-C-Zerstörung vorzubeugen. Bei der Lagerung ist auf eine kalte und feuchte Umgebung zu achten. Lichteinflüsse

sind zu vermeiden. Grundsätzlich sollten Lebensmittel nicht zu lange gelagert werden, um Vitaminverluste möglichst gering zu halten. [DGE et al., 2015]

Experiment (Vitamin C-Bestimmung):

Bei diesem Experiment wird der Vitamin-C-Gehalt von verschiedenen Lebensmitteln anhand von Vitamin C- Teststreifen nachgewiesen. Dafür werden die Lebensmittel mit einem Messer geteilt, um eine schöne Schnittfläche zu erhalten. Dann drückt man den Teststreifen einfach auf die Schnittfläche. Nach wenigen Sekunden kann man mithilfe einer Skala den Vitamin C-Gehalt des Lebensmittels bestimmen. Die SuS sollen erkennen, dass die Kartoffel hohe-Mengen an Vitamin C enthält und somit einen wertvollen Beitrag für unsere Ernährung leistet. Zum Vergleich können Äpfel, Tomaten, Paprika, Weißkraut, Zitronen, Wurst usw. herangezogen werden.

10.7 Ergänzungswirkung von Nahrungsprotein

Dieses Konzept knüpft an die Themen Proteinqualität und Biologische Wertigkeit an. Es kann als Ergänzung für das Thema Proteine im Unterricht angesehen werden.

Lernziele

Die SuS können...

- das Konzept der Biologischen Wertigkeit als Beurteilung für die Proteinqualität erläutern
- den Ergänzungswert von Nahrungsprotein erklären
- Beispiele für günstige Eiweißkombinationen nennen

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einführung	10	Wiederholung Proteinqualität - Biologische Wertigkeit	Arbeitsblatt (Lückentext)	Einzelarbeit
Erarbeitungsphase	40	Ergänzungswirkung der essentiellen Aminosäuren von Nahrungsprotein anhand von Duplo-Steinen, Arbeitsblatt (bei Verfügbarkeit einer Lehrküche: Backen eines Kartoffelbrot)	Duplo-Steine; Arbeitsblatt	Plenum

Die Wiederholung zum Thema Proteinqualität dient dazu, bereits vorhandenes Wissen wieder ins Bewusstsein zu rufen, um damit weiterarbeiten zu können.

Lösung der Wiederholung: Proteinqualität – essentielle Aminosäuren - Biologische Wertigkeit

Um den biologischen Wert von Nahrungseiweiß zu ermitteln, muss man besonders auf den Gehalt an *essentiellen Aminosäuren* achten. Für den Menschen gelten *acht* davon als lebensnotwendig. Der Körper braucht sie für den *Aufbau von körpereigenem Protein*. Sie können im Organismus nicht *synthetisiert* werden und müssen deshalb mit der Nahrung aufgenommen werden. Im Allgemeinen ist die biologische Wertigkeit von *tierischen* Proteinen höher als die von *pflanzlichen*. [Schlieper, 2007]

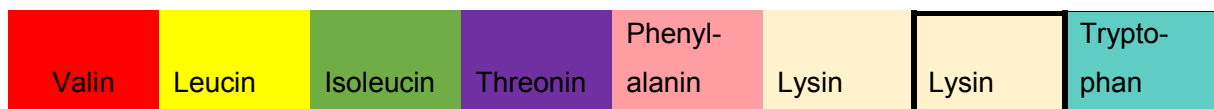
Nach der Wiederholung folgt die Erarbeitungsphase zur Ergänzungswirkung von Nahrungsprotein. Die Lehrperson erklärt das Konzept anhand von Duplosteinen.

Ergänzungswirkung von Nahrungsprotein

Um das Konzept der biologischen Wertigkeit bzw. des biologischen Ergänzungswertes zu veranschaulichen, werden verschiedenfarbige Duplosteine verwendet, welche die 8 essentiellen Aminosäuren (Aminosäuren = AS) darstellen. Als erstes baut man einen Turm mit 8 verschiedenen Steinen. Dies soll verdeutlichen, dass der Körper eine Proteinquelle nur dann vollständig verwerten kann, wenn alle 8 Steine (Aminosäuren = AS) ausreichend vorhanden sind. Das erste Beispiel dafür stellt das Kartoffelprotein dar. Dessen fehlender Stein ist das Methionin (= limitierende Aminosäure), dafür gibt es aber zwei Duplosteine an Lysin. Das zweite Beispiel stellt das Getreideprotein dar. Hier fehlt der Lysin-Duplostein, stattdessen gibt es zwei Duplosteine an Methionin. Konsumiert man die Nahrungsmittel alleine, so kann der Körper das vorhandene Protein nicht vollständig verwerten. Werden die Proteinquellen jedoch kombiniert, so ergänzen sich die Aminosäuren und die biologische Wertigkeit ist insgesamt erhöht.



Beispiel 1: Kartoffelprotein



Beispiel 2: Getreideprotein



Auf dem Arbeitsblatt ist als praktisches Beispiel für eine günstige Eiweißkombination ein Rezept für ein Kartoffelbrot vermerkt. Ist in der Schule eine Lehrküche vorhanden, so kann man das Brot im küchenpraktischen Unterricht mit den SuS backen. Findet an der Schule nur theoretischer Ernährungslehre-Unterricht statt, so kann das Brot auch zuhause gebacken und evt. gemeinsam in der Klasse verkostet werden.

1) Wiederholung Proteinqualität - Biologische Wertigkeit

Um den biologischen Wert von Nahrungseiweiß zu ermitteln, muss man besonders auf den Gehalt an _____ achten. Für den Menschen gelten _____ davon als essentiell. Der Körper braucht sie für den _____. Sie können im Organismus nicht _____ werden und müssen deshalb mit der Nahrung aufgenommen werden. Im Allgemeinen ist die biologische Wertigkeit von _____ Proteinen höher als die von _____.

2) Ergänzungswirkung von Nahrungsprotein

Du hast im Unterricht gelernt, wie sich verschiedene Proteinquellen ergänzen lassen. Nenne nun mithilfe deines Buches weitere Beispiele dafür. Welche Lebensmittel können kombiniert werden, um die biologische Wertigkeit zu erhöhen? Gib auch jeweils die *limitierenden Aminosäuren* an!

-
-
-
-

3) Wir kombinieren Kartoffeln und Getreide...

Bestimmst fragst du dich, wie du denn nun Kartoffeln und Getreide miteinander kombinieren sollst. Dafür gibt es ein einfaches Rezept – Kartoffelbrot! ☺

Foto: C. Bauer. 2018

Zutaten:

1000 g Weizenvollkornmehl
4 g Germ
1 TL Salz
200 g mehlig kochende Kartoffeln
650 ml Wasser



Dämpfe die Kartoffeln, schäle sie und zerdrücke sie mit einer Gabel. Lass sie etwas auskühlen. Gib alle anderen Zutaten in eine Rührschüssel. Knete sie gemeinsam mit den Kartoffeln zu einem geschmeidigen Teig. Lass den Teig eine Stunde an einem warmen Ort gehen. Forme anschließend einen Laib, lege ihn auf ein Blech und backe das Brot bei 180° C für eine Stunde. Gutes Gelingen!

10.8 Ökologische Aspekte – Kohlenhydratreiche Lebensmittel aus aller Welt

Dieses Konzept kann fächerübergreifend mit Geographie und Wirtschaftskunde erarbeitet werden. Es soll zur zur Bewusstseinsbildung über die Nachhaltigkeit von Lebensmitteln beitragen. Im Supermarkt findet man eine Vielzahl von Produkten, so auch eine große Auswahl an kohlenhydratreichen Lebensmitteln. Einige davon legen weite Transportwege zurück, bis sie bei uns in den Regalen landen. Die SuS sollen sich dessen bewusst werden und dabei auch ihr eigenes Konsumverhalten reflektieren. Die Aufgaben tragen zum Kompetenzerwerb im Bereich Verbraucherbildung bei. Dieser beinhaltet unter anderem, Qualitätskriterien für die Nachhaltigkeit von Produkten zu kennen. Da dieses Konzept in Zusammenhang mit der Kartoffel steht, sollen deren Vorzüge als regionales und preiswertes Nahrungsmittel hervorgehoben werden. Das Konzept ist nur für ältere SuS geeignet.

Lernziele

Die SuS können...

- verschiedene Kohlenhydratquellen nennen
- die Herkunftsorte der Lebensmittel und ihre Transportwege auf einer stummen Weltkarte visualisieren
- ihr Konsumverhalten reflektieren
- Stellung nehmen zu Sachverhalten und Lebensmittel auf ihre Nachhaltigkeit vergleichen

Dem Konzept geht ein Arbeitsauftrag voran (siehe unten). Idealerweise sollte dieser den SuS etwa eine Woche vor Bearbeitung des Themas mitgeteilt werden.

Arbeitsauftrag: Suche im Supermarkt nach verschiedenen kohlenhydratreichen Lebensmitteln. Du wirst sie in beinahe allen Abteilungen finden. Notiere die genaue Produktbezeichnung, den Preis pro kg und die Herkunft.

Unterrichtsphase	Zeit (min)	Tätigkeit	Materialien	Sozialform
Einführung	5	Die Lehrperson erinnert die SuS an den Arbeitsauftrag, die SuS holen ihre		Plenum

		gesammelten Informationen.		
Erarbeitungsphase	30	Die SuS erhalten ein Arbeitsblatt.	Arbeitsblatt, Atlas, PC/Smartphone	Einzelarbeit
Abschlussphase	10	Die SuS nehmen Stellung zu ihren Ergebnissen; Diskussion	Arbeitsblatt	Partnerarbeit/ Plenum

Erläuterungen zum Arbeitsblatt und zur Diskussion:

Durch das Eintragen der Herkunft bzw. Transportwege der verschiedenen Lebensmittel soll den SuS der Wert heimischer Lebensmittel bewusst werden. Lange Transportwege verursachen hohen CO₂-Emissionen, deshalb sollten regionale und saisonale Produkte immer bevorzugt werden.

In der Abschlussphase nehmen die SuS in Partnerarbeit zu ihren Ergebnissen Stellung und vergleichen die verschiedenen Lebensmittel auf ihre Nachhaltigkeit. Auch eine Diskussion ist aufgrund der komplexen Thematik sinnvoll. Die Aufgabenstellung bietet eine Vielzahl von Anknüpfungspunkten, die besprochen werden können. Einige Beispiele: Beurteilung der Qualität von Lebensmitteln, Landwirtschaft biologisch-konventionell, Transportwege, Transportmittel, Preis von inländischen Produkten vs. Produkten aus dem Ausland, Folgen von Importen auf die heimische Landwirtschaft, uvm.

Als Ergänzung können Alternativen gesucht werden für Lebensmittel, die importiert werden. Beispiele dafür wären etwa Dinkelreis statt Reis aus China, frische Kartoffeln aus Österreich statt Fertigprodukten. Auch der ernährungsphysiologische Wert der Nahrungsmittel kann verglichen werden, z.B. Vitamingehalt von weißem Reis vs. Kartoffeln.

1) Zeichne mithilfe eines Atlas den Herkunftsort aller kohlenhydratreichen Lebensmittel, die du gefunden hast, in der Weltkarte ein. Wähle dafür verschiedene Farben. In der unten stehenden Tabelle kannst du die Wörter im Anschluss ausschreiben.

2) Ermittle mithilfe deines PC/Smartphone die Länge des Transportweges, den das Lebensmittel zurückgelegt hat, bis es bei uns im Supermarkt angekommen ist. Notiere die Ergebnisse mithilfe von Pfeilen in der Karte.



Bild: Pixabay

3) Trage in die Tabelle die verschiedenen Lebensmittel ein. Achte darauf, dass du die gleichen Farben verwendest wie in der Karte. Notiere auch den Herkunftsort, die Länge der Transportwege und den Preis pro kg. Nimm anschließend zu deinen Ergebnissen und der Nachhaltigkeit der verschiedenen Lebensmittel Stellung.

Lebensmittel	Herkunftsort	Länge des Transportweges in km	Preis/kg

11 Zusammenfassung

Die Kartoffel (*Solanum tuberosum*, Solanaceae) ist eine der wichtigsten Kohlenhydratquellen in der Ernährung des Menschen. Sie enthält reichlich Kalium, welches eine Blutdruck senkende Wirkung hat. Überdies sind Vitamin C sowie die B-Vitamine Thiamin, Niacin und Pyridoxin in bemerkenswerten Mengen in der Knolle gespeichert. Sie sind essentiell für verschiedene physiologische Funktionen. Die vorliegende Arbeit zeigt die positiven Eigenschaften der Kartoffel für die menschlichen Ernährung auf.

Im praktischen Teil der Arbeit werden drei biologisch kultivierte Kartoffelsorten miteinander verglichen. Dabei werden Unterschiede bezüglich Wachstum und Krankheitsanfälligkeit deutlich. Überdies wird aufgezeigt, welche Maßnahmen positiv für die Bodengesundheit und –fruchtbarkeit sind. Letzere schaffen erst wirklich gute Voraussetzungen für ein optimales Wachstum der Kartoffeln. Eine vielfältige Fruchtfolge mit Verwendung von Leguminosen, organischem Dünger sowie schonende Bodenbearbeitung sind im biologischen Anbau von Kartoffeln die maßgeblichsten Faktoren für einen guten Ertrag. Dies ist besonders für landwirtschaftliche Betriebe in zunehmend trockenen Regionen wie dem Niederösterreichischen Weinviertel die Garantie für eine positive Geschäftsbilanz..

Zum Abschluss werden Konzepte und Materialien für Einbindung der Kartoffel in den Haushaltsökonomie- und Ernährungslehreunterricht vorgestellt. Handlungsorientierung und der Bezug zur Lebenswelt der Lernenden stehen dabei an vorderster Stelle. Die Schülerinnen und Schüler sollen den Wert der Kartoffel als nachhaltiges, gesundes Lebensmittel erkennen.

12 Abstract

The potato is an important energy source for humans. It contains great amounts of potassium, which lowers blood pressure. Vitamin C as well as the B-vitamins thiamine, niacin and pyridoxine are further important vitamins, stored in the tuber. They are essential for metabolism, controlling several physiological functions. The results of this work demonstrate various positive effects on human nutrition.

The empirical part of the thesis is dealing with an evaluation of three organically grown cultivars, their resistance against pests and plant diseases and their tolerance of dry growing conditions. The most important effects (e.g. fertile soil) for optimizing growing and developing of potato plants and tubers are discussed and the results are demonstrated. They are: a varied crop rotation, the use of legumes, organic fertilizer and an adequate tillage. Especially in dry areas like the Lower-Austrian „Weinviertel“ these measures play an important role in successful agriculture.

Potatoes are of high nutritive value but are much underestimated. Therefore teaching materials and concepts have been developed in the present thesis to highlight the importance of this food source.

13 Literaturverzeichnis

Aburto NJ, Ziolkovska A, Hooper L, Elliott P, Cappuccio FP und Meerpohl JJ. Effect of lower sodium intake on health: systemativ review and meta-analyses. In: The BMJ 2013; 346: f1326. DOI: 10.1136/bmj.f1326

Agentur für Ernährungssicherheit. Charakterisierung der Versuchsstandorte. Österreichische Beschreibende Sortenliste 2017. Online unter: <https://www.baes.gv.at/pflanzensorten/oesterreichische-beschreibende-sortenliste/pdf-version-der-bsl-2017/> (Zugriff: 19.4.2018)

Agrana Beteiligungs-AG (Hrsg.): Produkte für technische Anwendungen (2017). Online unter: <http://www.agrana.com/produkte/staerke/produkte-fuer-technische-anwendungen> (Zugriff: 16.11.2017)

Allison MF, Fowler JH und Allen EJ. Effects of soil- and foliar-applied phosphorus fertilizers on the potato (*Solanum tuberosum*) crop. In: Journal of Agricultural Science 2001; 137: 379-395. DOI: 10.1017/S0021859601001526

Ames M und Spooner D. DNA from Herbarium specimens settles a controversy about origins of the European potato. In: American Journal of Botany 2008; 95(2): 252-257. DOI: 10.3732/ajb.95.2.252

Barceloux DG. Potatoes, Tomatoes and Solanine Toxicity (*Solanum tuberosum* L., *Solanum lycopersicum* L.). In: Disease-a-Month 2009; 55(6): 391-402. DOI: 10.1016/j.disamonth.2009.03.009

Barnes WS, Maiello J, Weisburger JH. In vitro binding of the food mutagen 2-amino-3-methylimidazo-[4,5-]quinoline to dietary fibers. In: Journal of the National Cancer Institute 1983; 70:757-760.

Barth G. Pilgrimsreuth. Ursprünge des deutschen Kartoffelanbaus. In: Herrmann B und Dahlke C (Hrsg.) Schauplätze der Umweltgeschichte. Werkstattbericht, Göttingen 2008. 65-80.

Bauer J. Mündliche Information vom 26.4.2018

Belenky P, Bogan KL und Brenner C. NAD⁺ metabolism in health and disease. In: Trends in Biochemical Sciences 2007; 32: 12-19. DOI: 10.1016/j.tibs.2006.11.006

Belitz HD, Grosch W und Schieberle P. Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.

Bender DA. Nutritional Biochemistry of the Vitamins. Second edition. New York: Cambridge University Press, 2003.

Berger L, Etlstorfer G, Gruber P, Huber E, Kremaier H, Panzenböck J, Rehm F, Schnabel A, Waldhör A und Zobl F. Pflanzenbau 1. Grundlagen. 2. Auflage. Graz: Leopold Stocker Verlag, 2007.

- Berger H, Faber W, Schießendoppler E. Wichtige Krankheiten und Schädlinge der Kartoffel. Wien: Bundesanstalt für Pflanzenschutz, 1979.
- Berger L, Gruber P, Huber E, Panzenböck J, Rehm F und Schnabel A. Pflanzenbau 2. Acker, Grünland. 4. Auflage. Graz: Leopold Stocker Verlag, 2006.
- Berner A, Böhm H, Buchecker K, Dierauer H, Dresow JF, Dreyer W, Finck M, Fuchs A, Keil S, Keiser A et al. Biokartoffeln. Qualität mit jedem Anbauschritt. Merkblatt. Bioland Beratung GmbH, Kompetenzzentrum Ökolandbau Niedersachsen, Bio Austria, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) (Hrsg.), 2010.
- Bernstein H, Bernstein C, Payne CM, Dvorakova K und Garewal H. Bile acids as carcinogens in human gastrointestinal cancers. In: Mutation Research 2005; 589: 47-65. DOI: 10.1016/j.mrrev.2004.08.001
- Bertoft E und Blennow A. Structure of Potato Starch. In: Singh J und Lovedeep K (Hrsg.) Advances in Potato Chemistry and Technology. Amsterdam: Academic Press, 2016.
- Biesalski HK und Grimm P. Taschenatlas Ernährung. 5. Auflage. Stuttgart, New York: Thieme, 2011.
- Biesalski HK, Schrezenmeir J, Weber P und Weiß H. Vitamine. Physiologie, Pathophysiologie und Therapie. Stuttgart, New York: Thieme, 1997.
- BIO AUSTRIA. Produktionsrichtlinien. Fassung März 2018. Online unter: http://www.bio-austria.at/app/uploads/BIO-AUSTRIA_Produktionsrichtlinien_201803.pdf. (Zugriff: 18.4.2018)
- Bogan KL und Brenner C. Nicotin Acid, Nicotinamide, and Nicotinamide Riboside: A Molecular Evaluation of NAD⁺ Precursor Vitamins in Human Nutrition. In: Annual Review of Nutrition 2008; 28: 115-130. DOI:10.1146/annurev.nutr.28.061807.155443
- Börner H, Schlüter K und Aumann J. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. 8. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- Bradshaw J und Vreugdenhil D. Potato Biology and Biotechnology. Advances and Perspectives. 1st ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2007.
- Bravo A, Gill S und Soberón M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. In: Toxicon 2007; 49: 423-435. DOI: 10.1016/j.toxicon.2006.11.022
- Brazda G. Die Kartoffel als Kulturpflanze. In: Ottenjann H und Ziessow KH (Hrsg.) Die Kartoffel: Geschichte und Zukunft einer Kulturpflanze. Cloppenburg: Verlag Museumsdorf Cloppenburg, 1992.
- Brouns F, Kettlitz B und Arrigoni E. Resistant starch and the „butyrate revolution“. In: Trends in Food Science and Technology 2002; 13: 251-261. DOI: 10.1016/S0924-2244(02)00131-0

Brown CR, Edwards CG, Yang CP und Dean BB. Orange flesh trait in potato: inheritance and carotenoid content. In: Journal of the American Society for Horticultural Science 1993; 118: 145-150.

Brown CR, Wrolstad R, Durst R, Yang CP und Clevidence B. Breeding studies in potatoes containing high concentrations of anthocyanins. In: American Journal of Potato Research 2003; 80: 241-249.

Caccialupi P, Ceci LR, Siciliano RA, Pignone D, Clemente A und Sonnante G. Bowman-Birk inhibitors in lentil: Heterologous expression, functional characterisation and anti-proliferative properties in human colon cancer cells. In: Food Chemistry 2010; 120: 1058-1066. DOI: 10.3748/wjg.v20.i30.10305

Camire ME. Potatoes and Human Health. In: Singh J und Lovedeep K (Hrsg.) Advances in Potato Chemistry and Technology. Amsterdam: Academic Press, 2016.

Cheng CJ, Kuo E und Huang CL. Extracellular Potassium Homeostasis: Insights from Hypokalemic Periodic Paralysis. In: Seminars in Nephrology 2013; 33(3): 237-247. DOI: 10.1016/j.semnephrol.2013.04.004

Collins AR. Carotenoids and genomic stability. In: Mutation Research 2001; 475: 21-28.

Cutter EG. Structure and development of the potato plant. In: Harris P (Hrsg.): The potato crop. Boston: Springer, 1992.

De Haan S, Burgos G, Arcos J, Ccanto R, Scurrah M, Salas E und Bonierbale M. Traditional Processing of Black and White Chuños in the Peruvian Andes: Regional Variants and Effect on the Mineral Content of Native Potato Cultivars. In: Economic Botany 2010; 64(3), 217-234. DOI: 10.1007/s12231-010-9128-x

De Lacy Costello PBJ, Evans P, Ewen RJ, Gunson HE, Ratcliffe NM und Spencer-Philips PTN. Identification of volatiles generated by potato tubers (*Solanum tuberosum* CV: Maris Piper) infected by *Erwinia carotovora*, *Bacillus polymyxa* and *Arthrobacter sp.* In: Plant Pathology 1999; 48: 345-351.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.): Kohlenhydrate, Ballaststoffe (Nahrungsfasern). In: Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 2. Auflage, 1. Ausgabe. Bonn, 2015.

Dickens JC. Orientation of Colorado potato beetle to natural and synthetic blends of volatiles emitted by potato plants. In: Agricultural and Forest Entomology 2000; 2:167-172. DOI: 10.1046/j.1461-9563.2000.00065.x

Diepenbrock W, Ellmer F und León J. Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Stuttgart: Ulmer, 2016.

Diepenbrock W, Fischbeck G, Heyland KU und Knauer N. Spezieller Pflanzenbau. Stuttgart: Ulmer, 1999.

Drangmeister H. Kartoffelanbau. BLE 2011. Online unter: https://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/oeko_lehrmittel/Fachsschulen_Agrar/Landwirtschaft/Aktualisierung_2012/flwmd02_21_2011.pdf. (Zugriff: 24.4.2018)

eBod. Die digitale Bodenkarte (2012). Online unter: <http://gis.lebensministerium.at> (Zugriff: 25.4.2018)

Ek KL, Brand-Miller J, Copeland L. Glycemic effect of potatoes. In: Food Chemistry 2012; 133: 1230-1240. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.09.004

Elmadfa I. Ernährungslehre. 2. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 2009.

FAO (2017): FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations; online unter: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Zugriff: 15.11.2017).

Feigenspan A. Exkretorische Mechanismen. In: Feigenspan A. Prinzipien der Physiologie. Grundlegende Mechanismen und evolutionäre Strategien. Berlin: Springer-Verlag, 2017(a).

Feigenspan A. Spannungsabhängige Prozesse. In: Feigenspan A. Prinzipien der Physiologie. Grundlegende Mechanismen und evolutionäre Strategien. Berlin: Springer-Verlag, 2017(b).

Fraser PD und Bramley PM. The biosynthesis and nutritional use of carotenoids. In: Progress in Lipid Research 2004; 43: 228-265. DOI: 10.1016/j.plipres.2003.10.002

Friedman M, Roitman JN und Kozukue N. Glycoalkaloid and calystegine content of eight potato cultivars. In: Journal of Agriculture and Food Chemistry 2003; 51: 2964-2973. DOI: doi.org/10.1021/jf021146f

Friedman M. Analysis of biologically active compounds in potato (*Solanum tuberosum*), tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), and jimson weed (*Datura stramonium*) seeds. In: Journal of Chromatography A 2004; 1054: 143-155. DOI: 10.1016/j.chroma.2004.04.049

Friedman M. Dietary Impact of food processing. In: Annual review of Nutrition 1992; 12: 119-137.

Friedman M. Potato Glycoalkaloids and Metabolites: Roles in the Plant and in the Diet. In: Journal of Agricultural and Food Chemistry 2006; 54: 8655-8681. DOI: 10.1021/jf061471t

Fuess W. Die Geschichte der Kartoffel. Berlin, Forschungsinstitut für Stärkefabrikation, 1938.

Genussregionen Marketing GmbH. Implementierung der Qualitäts- und Herkunftssicherung in der Genussregion Weinviertler Erdäpfel. Wien: Kuratorium Genussregion Österreich, 2013.

Gibson S und Kurilich AC. The nutritional value of potatoes and potato products in the UK diet. In: Nutrition Bulletin 2013; 38: 389-399. DOI: 10.1111/nbu.12057

Gloria L, Cravo M, Camilo ME, Resende M, Cardoso JN, Oliveira AG, Leitao CN und Mira FC. Nutritional deficiencies in chronic alcoholics: relation to dietary intake and alcohol consumption. In: American Journal of Gastroenterology 1997; 92: 485-489.

Habermehl G, Hammann PE, Krebs HC und Ternes W. Naturstoffchemie. Eine Einführung. 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.

Hachfeld R. Die Kartoffel ein Geschenk der neuen Welt. In: Hachfeld R (Hg.) und Kosler B, Kartoffel: Kultur, Mythos, Gesundheit, Rezepte. Heidelberg: Umschau/Braus, 2004; 24-51.

Hack H, Gall H, Klemke TH, Klose R, Meier U, Stauss R und Witzen-Berger A. Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala mit Abbildungen. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 1993; 45: 11-19.

Hammann T. Inwertsetzung wilder Verwandter der Kartoffel zur Entwicklung von genetisch erweitertem Keimplasma mit verbesserter Resistenz gegen die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*). In: Journal für Kulturpflanzen 2013; 65(7): 285-292. DOI: 10.5073/JFK.2013.07.04

Hardin B. Preserving potato plant diversity. In: Agricultural Research 1991(4), 7.

Haslinger I. Es möge Erdäpfel regnen. Eine Kulturgeschichte der Kartoffel von Ingrid Haslinger mit 170 Rezepten. Wien: Mandelbaum Verlag, 2009.

Hawkes JG. Significance of wild species and primitive forms for potato breeding. In: Euphytica 1958; 7: 257-270.

Hawkes JG. The evidence for the extent of N.I. Vavilov's new world Andean centres of cultivated plant origins. In: Genetic Resources and Crop Evolution 1999; 46: 163-168.

Hijmans RJ and Spooner DM. Geographic distribution of wild potato species. In: American Journal of Botany 2001; 88(11): 2101-2112.

Hijova E und Chmelarowa A. Short chain fatty acids and colonic health. In: Bratislava Medical Journal 2007; 108(8): 354-358.

Huamán Z und Spooner DM. Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum sect. Petota*). American Journal of Botany 2002; 89: 947-965.

Hofheinz K, Ganzleben I, Schliep S, Wacker J, Schett G und Manger B. Skorbut. Eine seltene Differentialdiagnose rheumatischer Erkrankungen. In: Zeitschrift für Rheumatologie 2016; 75: 166-172. DOI: 10.1007/s00393-015-0030-x

Iwama K. Physiology of the Potato: New Insights into Root System and Repercussions for Crop Management. In: Potato Research 2008; 51: 333-353. DOI: 10.1007/s11540-008-9120-3

- Juzepczuk SW und Bukasov SM. A contribution to the question of the origin of the potato. Proceedings of the USSR Congress of Genetics. In: Plant Animal Breeding 1929; 3: 592-611.
- Kainz M. Technik und Anbauverfahren. In: Möller K, Kolbe H und Böhm H. Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. Leopoldsdorf: Österreichischer Agrarverlag, 2003.
- Kamel KS, Schreiber M und Halperin ML. Renal potassium physiology: integration of the renal response to dietary potassium depletion. In: Kidney International 2018; 93: 41-53. DOI: 10.1016/j.kint.2017.08.018
- Kaspar KL, Park JS, Brown CR, Mathison BD und Navarre DA. Pigmented potato consumption alters oxidative stress and inflammatory damage in men. In: The Journal of Nutrition 2011; 141: 108-111. DOI: 10.3945/jn.110.128074
- Keiser A, Häberli M und Stamp B. Quality deficiencies on potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers caused by *Rhizoctonia solani*, wireworms (*Agriotes* ssp.) and slugs (*Deroceras reticulatum*, *Arion hortensis*) in different farming systems. In: Field Crops Research 2012; 128: 147-155. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.01.004
- Kolbe H. Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel. In: Kartoffelbau 1995, 10: 404-411.
- Kolbe H. Standort- und Bodenansprüche. In: Möller K, Kolbe H und Böhm H. Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. Leopoldsdorf: Österreichischer Agrarverlag, 2003.
- Kolbe H und Möller K. Wachstum und Entwicklung der Kartoffel. In: Möller K, Kolbe H und Böhm H. Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. Leopoldsdorf: Österreichischer Agrarverlag, 2003.
- Kolbe H, Karalus W, Schuster M, Hänsel M, Schaerff A und Pölit B. Kartoffeln im Ökolandbau. Informationen für Praxis und Beratung 2012. Online unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11917> (Zugriff: 17.4.2018)
- Kolbe W. Kulturgeschichte der Kartoffel und anderer Knollenfrüchte. Burscheid: W.A. Kolbe, 1994.
- Kück U und Wolff G. Botanisches Grundpraktikum. 2. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- Lachman J, Hamouz K und Orsák M. Colored Potatoes. In: Singh J und Lovedeep K (Hrsg.) Advances in Potato Chemistry and Technology. Amsterdam: Academic Press, 2016.
- Layman DK und Walker DA. Potential importance of leucin in treatment of obesity and the metabolic syndrome. In: Journal of Nutrition 2006; 136(1 Suppl.): 319-323.
- Leeman E, Östman E und Björck I. Glycaemic and satiating properties of potato products. In: European Journal of Clinical Nutrition 2008; 62: 87-95. DOI: 10.1038/sj.ejcn.1602677

- Leitzmann C, Müller C, Michel P, Brehme U, Hahn A und Laube H. Ernährung in Prävention und Therapie. 2. Auflage. Stuttgart: Hippokrates Verlag, 2003.
- Liu YW, Han CH, Lee MH, Hsu FL und Hou WC. Patatin, the tuber storage protein of potato (*Solanum tuberosum*), exhibits antioxidant activity in vitro. In: Journal of Agricultural and Food Chemistry 2003; 51(15): 4389-4393.
- Lorey H. Alte Kartoffelsorten im Hausgarten – Tipps zur Erhaltung und Pflege. – In: Samensurium 12. Steinhagen, 2001. Online unter: <https://www.nutzpflanzenvielfalt.de/sites/nutzpflanzenvielfalt.de/files/publikationen/sasu12d.pdf> (Zugriff: 3.11.2017)
- Love SL und Pavek JJ. Positioning the Potato as a Primary Source of Vitamin C. In: American Journal of Potato Research 2008; 85: 277-285. DOI: 10.1007/s12230-008-9030-6
- Machida-Hirano R. Diversity of potato genetic resources. In: Breeding science 2015; 65: 24-40. DOI: 10.1270/jsbbs.65.26
- Madigan MT, Martinko JM und Parker J. Brock Biology of Microorganisms. 9th Edition. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- Manzetti S, Zhang J und van der Spoel D. Thiamin Function, Metabolism, Uptake and Transport. In: Biochemistry 2014; 53(5): 821-835. DOI: 10.1021/bi401618y
- Masclef A. *Solanum tuberosum* L. Atlas des plantes de France 1891. Online unter https://commons.wikimedia.org/wiki/File:234_Solanum_tuberosum_L.jpg. (Zugriff: 2.2.2018)
- McGill CR, Kurilich AC und Davignon J. The role of potatoes and potato components in cardiometabolic health: A review. In: Annals of Medicine 2013; 45: 467-473. DOI: 10.3109/07853890.2013.813633
- Möller K und Kolbe H. Fruchtfolge, Nährstoffversorgung, Düngung. In: Möller K, Kolbe H und Böhm H. Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. Leopoldsdorf: Österreichischer Agrarverlag, 2003.
- Möller K, Meinck S, Karalus W. Krankheiten und Schädlinge. In: Möller K, Kolbe H und Böhm H. Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. Leopoldsdorf: Österreichischer Agrarverlag, 2003.
- Mooney S und Hellmann H. Vitamin B₆: A Molecule for Human Health? In: Molecules 2010; 15: 442-459. DOI: 10.3390/molecules15010442
- Moser U und Bendich A. Vitamin C. In: Machlin LJ (Hrsg.): Handbook of Vitamins. Second Edition. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991.
- Müller M. Eiweiss und Aminosäuren in der Ernährung. Empfehlungen für eine optimale Versorgung. In: Schweizer Zeitschrift für Ganzheitsmedizin 2005; 17: 100-103.

Murkovich M. Toxine in pflanzlichen Lebensmitteln. Technische Universität Graz. (o.J.) Online unter: <http://www.foodscience.tugraz.at/murkovic/tox-1.pdf>. (Zugriff: 27.3.2018)

Nabors MW. Botanik. 1st Edition. München: Pearson Studium, 2007.

Navarre DA, Shakya R und Hellmann H. Vitamins, Phytonutrients and Minerals in Potato. In: Singh J und Lovedeep K (Hrsg.) *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Amsterdam: Academic Press, 2016.

Nechwatal J. Kupferminimierungs- und Vermeidungsstrategien für den ökologischen Karoffelanbau, Teilprojekt A: Maßnahmen zur Reduktion des Primärbefalls. In: Julius Kühn-Institut (Hrsg.): *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 179*. Braunschweig: Saphir Verlag, 2015. DOI: 10.5073/berjki.2015.179.000

Nestroy O, Aust G, Blum WEH, Englisch M, Hager H, Herzberger E, Kilian W, Nelhiebel P, Ortner G, Pecina E et al. Systematische Gliederung der Böden Österreichs. *Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011*. Wien: Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, 2011.

Nitsch A. Kartoffelbau. Bergen: Agrimedia, 2003.

NOES (NÖ. Saatbaugenossenschaft). Sortenkatalog 2017-2018. Online unter: http://www.noes.at/wp-content/uploads/2017/06/sortenkatalog_2017_18.pdf. (Zugriff: 23.4.2018)

Nugent AP. Health properties of resistant starch. In: *Nutrition Bulletin* 2005; 30: 27-54. DOI: 10.1111/j.1467-3010.2005.00481.x

Otzen B und Otzen H. *Das Kartoffelbuch. Geschichte und Geschichten, alte und neue Rezepte*. Königswinter: Heel Verlag, 2005.

Penberthy WT und Kirkland JB. Niacin. In: Erdman JW, Macdonald IA und Zeisel SH (Hrsg.): *Present Knowledge in Nutrition*. Tenth Edition. Ames: Wiley-Blackwell, 2012.

Peralta IE und Spooner DM. Granule-bound starch synthase (GBSSI) gene phylogeny of wild tomatoes (*Solanum* L. section *Lycopersicon* [Mill.] Wettst. subsection *Lycopersicon*). In: *American Journal of Botany* 2001; 88 (10): 1888-1902.

Plautz K. *Nova typis transacta navigatio Novi Orbis occidentalis Buellii, Cataloni sociorumque, monachorum Ordinis S. Benedicti facta 1492*. Seitenstetten, Linz, 1621.

Pohl HR, Wheeler JS und Murray HE. Sodium and Potassium in Health and Disease. In: Sigel A, Sigel H und Sigel RKO (Hrsg.): *Interrelations between Essential Metal Ions and Human Diseases, Metal Ions in Life Sciences 13*. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2013.

Pots AM, Gruppen H, van Diepenbeek R, van der Lee JJ, van Boekel MAJS, Wijngaards G und Voragen AGJ. The effect of storage of whole potatoes of three cultivars on the patatin and protease inhibitor content; a study using capillary

electrophoresis and MALDI-TOF mass spectrometry. In: Journal of the Science of Food and Agriculture 1999; 79: 1557-1564.

Putz B. Die Kartoffel als Beitrag zu einer gesunden Ernährung. In: Samensurium 14. Detmold, 2003; 31-36.

Rayburn JR, Bantle JA und Friedman M. Role of Carbohydrate Side Chains of Potato Glycoalkaloids in Developmental Toxicity. In: Journal of Agricultural and Food Chemistry 1994; 42: 1511-1515.

Rehm S und Espig G. Die Kulturpflanzen der Tropen und Suptropen. Stuttgart: Ulmer, 1984.

Reust W. EAPR Working Group „Physiological age of the potato“. Definitions of terms. In: Potato research 1986; 29: 268-271.

Rothacker D. Zur Geschichte und Bedeutung der Kartoffel in Europa – Ein Geschenk der Neuen Welt. In: Kataloge des OÖ Landesmuseums Nr. 61. Linz: 1992; 213-252.

Rosenzweig N, Steere L, Hammerschmidt R und Kirk W. Tuber Soft Rot, Blackleg and Aerial Stem Rot. Michigan Potato Diseases. Extension Bulletin 2016. Online unter: http://msue.anr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/E3335_Tuber_Soft_Rot_WCAG_2.0.pdf. (Zugriff: 17.4.2018).

Rupp J und Jacobsen B. Bacterial and fungal diseases of potato and their management. Online unter: <http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/EB0225.pdf>. (Zugriff: 17.4.2018)

Rust P, Hasenegger V und König J (Hrsg.): Österreichischer Ernährungsbericht 2017. Bundesministerium für Gesundheit und Frauen. Wien, 2017.

Salaman RN. The early European potato; its character and place of origin. In: Journal of the Linnean Society (Botany) 1946; 53: 1-27.

Schade F und Jockusch H. Betörend, berauschend, tödlich - Giftpflanzen in unserer Umgebung. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016.

Schepl U und Paffrath A. Entwicklung von Strategien zur Regulierung des Drahtwurmbefalls (*Agriotes* spp. L.) im Ökologischen Kartoffelanbau. In: Freyer B. Ökologischer Landbau der Zukunft, Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 133-136. Wien: Universität für Bodenkultur – Institut für ökologischen Landbau, 2003.

Schlieper CA. Grundfragen der Ernährung. 19. Auflage. Hamburg: Verlag Dr. Felix Büchner, 2007.

Silbernagl S und Despopoulos A. Taschenatlas der Physiologie, 6. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2003.

Simmonds NW. Potatoes – *Solanum tuberosum* (*Solanaceae*). In: Smartt J und Simmonds NW (Hrsg.): Evolution of crop plants. Harlow: Longman Scientific and Technical, 1995.

Souci SW, Fachmann W und Kraut H. Lebensmitteltabelle für die Praxis. 5. Auflage, bearbeitet von Andersen G und Soyka K. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 2011.

Spooner DM und Hijmans RG. Potato Systematics and Germplasm Collection, 1989-2000. In: American Journal of Potato Research 2001; 78: 237-268.

Spooner DM, Anderson GJ und Jansen RK. Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes and pepinos (*Solanaceae*). In: American Journal of Botany 1993; 80: 676-688.

Spooner DM, Ghislain M, Simon R, Jansky SH und Gavrilenko T. Systematics, Diversity, Genetics and Evolution of Wild and Cultivated Potatoes. In: The Botanical Review 2014; 80(4): 283-383. DOI: 10.1007/s12229-014-9146-y

Spooner DM, McLean K, Ramsay G, Waugh R und Bryan GJ. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. In: Proceedings of the National Academy of Sciences 2005; 102: 14694-14699. DOI: 10.1073/pnas.0507400102

Spooner DM, Ruess H, Arbizu CI, Rodríguez F, Solís-Lemus C. Greatly reduced phylogenetic structure in the cultivated potato clade (*Solanum* section *Petota* pro parte). In: American Journal of Botany 2017; 105(1): 60-70. DOI: 10.1002/ajb2.1008

Stahl A und Hesecker H. Vitamin B1 (Thiamin). Physiologie, Vorkommen, Analytik, Referenzwerte und Versorgung in Deutschland. In: Ernährungsumschau 2008; 7: 420-426.

Statistik Austria: Versorgungsbilanz für Kartoffeln und Kartoffelstärke 2010/11 bis 2015/16 (2017). Online unter: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/versorgungsbilanzen/022324.html (Zugriff: 15.11.2017)

Storey M. The Harvested Crop. In: Vreugdenhil D (Hrsg): Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives. 1st ed. Amsterdam, Boston: Elsevier, 2007.

Struik PC. Above-Ground and Below-Plant Development. In: Vreugdenhil D (Hrsg): Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives. 1st ed. Amsterdam, Boston: Elsevier, 2007; 219-236.

Tajner-Czopek A, Jarych-Szyszka M und Lisinska G. Changes in glycoalkaloids content of potatoes destined for consumption. In: Food Chemistry 2008; 106: 706-711. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.06.034

Teuteberg HJ. Die tägliche Kost unter dem Einfluss der Industrialisierung. In: Teuteberg HJ und Wiegelmann G (Hrsg.) Unsere tägliche Kost. Geschichte und

regionale Prägung. (Studien zur Geschichte des Alltags 6). Münster: Coppenrath, 1986; 93-134.

U.S. Department of Agriculture. Nutrient Database for Standard Reference. Nutrient Data Laboratory Home Page, 2018. Online unter: <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata> (Zugriff: 15.3.2018)

Veerman A und Wustman R. Potato quality: Getting the basics right. In: Haase NU und Haverkort AJ (Hrsg): Potato developments in a changing Europe. Wageningen: Academic Publishers, 2006, 141-151.

Waglay A und Karboune S. Potato Proteins: Functional Food Ingredients. In: Singh J und Lovedeep K (Hrsg.) Advances in Potato Chemistry and Technology. Amsterdam: Academic Press, 2016.

Watzl B und Leitzmann C. Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Hippokrates Verlag GmbH, 1999.

Wegner K, Graf AM, Schneider I, Detmering W, Zern N und Ellrott T. Aktuelle Aspekte der Kartoffelforschung. Teil 1: Für Übergewicht und Diabetes relevante Aspekte. In: Ernährungs Umschau 2010; 57: 184-189.

Weiler EW, Nover L. und Nultsch W. Allgemeine und molekulare Botanik. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2008.

Weiß C. Glykoalkaloide in Kartoffeln und Tomaten. In: Ernährungs Umschau 2007; 8: 474-477.

Whelton PK. Sodium, Potassium, Blood Pressure, and Cardiovascular Disease in Humans. In: Current Hypertension Reports 2014; 16: 465. DOI: 10.1007/s11906-014-0465-5

Winkler M, Zetter M und Fank J. Wetterservice der Hagelversicherung – Analyse. Online unter: <https://portal.hagel.at/site/index.cfm?objectid=B422D649-AE47-DA47-1A7AE378F38EE958> (Zugriff: 25.4.2018)

Wishart J, George T, Brown L, Ramsay G, Bradshaw J, White P und Gregory P. Measuring variation in potato roots in both field and glasshouse: the search for useful field predictors and simple screen for potato traits. In: Plant Soil 2013; 368: 231-249. DOI: 10.1007/s11104-012-1483-1

Wölfel S. Abschlussbericht. Einflussnahme auf die Entwicklung des Stärkegehaltes von Speisekartoffeln unter Thüringer Bedingungen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) Jena, 2002.

Yang J, Liu J und Parry J. Vitamin C: Daily Requirements, Dietary Source and Adverse Effects. In: Kucharski H und Zajac J (Hrsg.): Handbook of Vitamin C Research: Daily Requirements, Dietary Sources and Adverse Effects. New York: Nova Biomedical Books, 2009.

Zeng H, Lazarova DL und Bordonaro M. Mechanisms linking dietary fiber, gut microbiota and colon cancer prevention. In: World Journal of Gastrointestinal Oncology 2014; 6(2): 41-51. DOI: 10.4251/wjgo.v6.i2.41

Ziessow KH. Kolumbus' spätes Erbe. Dreihundert Jahre Entdeckungsreisen der Kartoffel in Europa. In: Ottenjann H und Ziessow KH (Hrsg.) Die Kartoffel: Geschichte und Zukunft einer Kulturpflanze. Cloppenburg: Verlag Museumsdorf Cloppenburg, 1992; 15-45.

Zuckermann L. Die Geschichte der Kartoffel. Von den Anden bis in die Fritteuse. Berlin: Claassen, 2004.