
2 Stand des Wissens und der Technik

2.1 Kohlrabi

2.1.1 Botanik und Inhaltsstoffe

Kohlrabi (*Brassica oleracea* convar. *acephala* var. *gongylodes* L.) zählt wie alle Kohlarten zur Familie der Brassicaceae. Bei der Kohlrabipflanze handelt es sich um eine zweijährige Pflanze mit gestielten Blättern. Sie ist gekennzeichnet durch ein Dickenwachstum der Hauptachse oberhalb des Hypokotyls, das zur Bildung einer orthotropen Sprossknolle führt, die der Pflanze als Speicherorgan dient. Da die Stammverdickung oberhalb des 4. bis 5. Internodiums (Laubblattes) stattfindet, wächst die Sprossknolle über der Erde, im Gegensatz zu zum Beispiel Radieschen oder Rote Bete, bei denen eine Verdickung vor allem des Hypokotyls vorliegt. Für den Anbau werden meist Jungpflanzen verwendet, die Kulturdauer von Pflanzung bis Ernte dauert je nach Jahreszeit 2 bis 3 Monate. Wird die Pflanze nicht geerntet, erfolgt im zweiten Jahr die Bildung des Blütenstandes, die Blüte kann jedoch auch bereits im Jungpflanzenstadium durch einen Kälte- oder Frostschock ausgelöst werden [Bickel-Sandkötter 2003, Wonneberger 2004, Van Wyk 2005]. Bei den Kohlrabipflanzen kann je nach Anbauzeit zwischen Früh- und Spätsorten und bezüglich der Färbung zwischen grünen und rotschaligen Sorten unterschieden werden. Bei den rotschaligen Sorten wird die Rotfärbung der Schale und häufig auch der Blattstiele und Blattrippen durch Anthocyane hervorgerufen [Bickel-Sandkötter 2003].

Bei Kohlrabi handelt es sich um ein frostempfindliches Gemüse. Temperaturen unter 0 °C verursachen in den Randschichten der Knolle Plasmolyse und Absterben der Zellen, so dass in diesen peripheren Bereichen physiologische Schäden auftreten [Böttcher 1996].

Mit einem Gesamtascorbinsäuregehalt von durchschnittlich 63 mg/100 g (41 - 92 mg/100 g) zählt Kohlrabi zu den Vitamin C-reichen Gemüsearten [Souci 2008]. 100 g Kohlrabi decken ca. 60 % der empfohlenen täglichen Zufuhr an Vitamin C für Erwachsene (25 bis 50 Jahre), die bei 100 mg/d liegt [DGE 2000].

Tab. 2.1: Hauptbestandteile und ausgewählte einzelne Inhaltsstoffe der Kohlrabiknolle [Souci 2008]

Energiegehalt	
der verdaulichen Bestandteile aus 100 g essbarem Anteil (Abfall: 34 %)	105 kJ
Hauptbestandteile in 100 g essbarem Anteil	
Wasser	91,6 g
Protein (N x 6,25)	1,94 g
Fett	0,16 g
Kohlenhydrate	3,7 g
Ballaststoffe	1,44 g
Organische Säuren	0,16 g
Mineralstoffe	0,95 g
Einzelne Inhaltsstoffe in 100 g essbarem Anteil	
Mineralstoffe	
Natrium	20 mg
Kalium	322 mg
Magnesium	43 mg
Calcium	59 mg
Mangan	110 µg
Eisen	475 µg
Cobalt	1,7 µg
Kupfer	47 µg
Zink	246 µg
Nickel	6 µg
Phosphor	50 mg
Chlorid	37 mg
Iodid	728 ng
Selen	700 ng
Vitamine	
Vitamin A (Retinoläquivalent)	33 µg
Gesamtcarotinoide	200 µg
β-Carotin	200 µg
Vitamin K	7 µg
Vitamin B ₁	48 µg
Vitamin B ₂	46 µg
Nicotinamid	1,8 mg
Pantothensäure	100 µg
Vitamin B ₆	71 µg
Biotin	2,7 µg
Folsäure	70 µg
Vitamin C	63 mg
Bioaktive Inhaltsstoffe	
Glucosinolate	19 mg

Neben Vitamin C liefert die Kohlrabiknolle auch weitere Vitamine (Vitamin K, Nicotinamid, Folsäure) und Mineralstoffe (Kalium, Magnesium) und ist reich an Glucosino-

laten (siehe Tab. 2.1). Unter der Bezeichnung Glucosinolate wird eine Gruppe schwefelhaltiger Metabolite des Sekundärstoffwechsels der Pflanzen zusammengefasst. Sie kommen insbesondere in Pflanzen der Familie Brassicaceae vor und bestehen aus einem β -Thioglucose-Rest, einem sulfonierten Oxim-Rest und einer variablen Seitenkette, die sich von einer Aminosäure (häufig Valin, Phenylalanin oder Methionin) ableitet. Die Hydrolyse der Glucosinolate wird durch das Enzym Myrosinase (β -Thioglucosidase) katalysiert, das unter anderem als Folge mechanischer Verletzungen des Gewebes in Kontakt mit den Glucosinolaten tritt. Ascorbinsäure wirkt hierbei vermutlich als Coenzym (siehe Kapitel 2.3.4). Bei der Hydrolyse der Glucosinolate entsteht eine Vielzahl an Abbauprodukten, zu denen die Isothiocyanate (ITC), Nitrile und Thiocyanate zählen [Mithen 2001, Watzl 2001]. Den Isothiocyanaten wird in der jüngsten Vergangenheit eine anticancerogene Wirkung zugesprochen. In Kohlrabi sind vor allem die Isothiocyanate Methylthiobutyl-ITC, Sulforaphan, Allyl-ITC und Phenylethyl-ITC vertreten [Gerendás 2008].

2.1.2 Marktdaten

Kohlrabi wird weltweit angebaut, die Hauptanbauggebiete liegen jedoch in Mitteleuropa [Bickel-Sandkötter 2003].

Im Jahr 2008 werden in Deutschland von insgesamt 2.618 Betrieben auf einer Anbaufläche von $23.170 \times 10^3 \text{ m}^2$ (2.317 ha) Kohlrabi im Freiland angebaut. Bei einem durchschnittlichen Flächenertrag von $3,08 \text{ kg/m}^2$ (308 dt/ha) ergibt sich somit eine Erntemenge von 71.365.700 kg (713.657 dt) für 2008. Unter Glas wird Kohlrabi 2008 von insgesamt 1.044 Betrieben angebaut. Mit einer Erntemenge von 1.566.600 kg (15.666 dt) auf einer Anbaufläche von $365 \times 10^3 \text{ m}^2$ (36,51 ha) kommt dieser Anbauform eine deutlich geringere Bedeutung zu [Stabu 2009a, Stabu 2009b].

Bezogen auf Anbaufläche und erzielte Erntemenge liegen die Hauptanbauggebiete innerhalb Deutschlands für Freilandkohlrabi in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz (siehe Abb. 2.1).

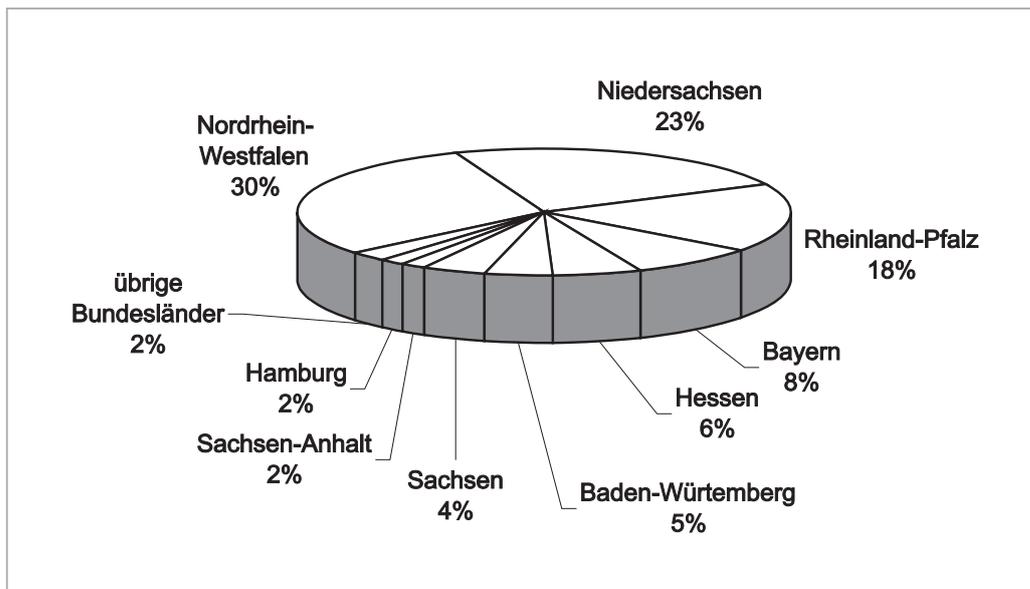


Abb. 2.1: Hauptanbauggebiete für Freilandkohlrabi in 2008, bezogen auf die Erntemenge, modifiziert nach [Stabu 2009a]

Der Anbau von Kohlrabi in Unterglasanlagen findet vor allem Anwendung in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern (> 60 % der Anbauflächen des Unterglasanbaus) [Stabu 2009a].

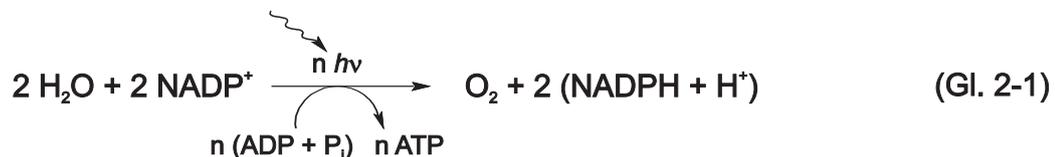
2.2 Vorgänge während der Lagerung von Gemüse

Bei geerntetem Gemüse handelt es sich um lebende Pflanzenorgane, in deren Gewebe auch nach der Ernte noch eine Vielzahl physiologischer Vorgänge ablaufen, zu denen unter anderem Photosynthese, Atmung, Transpiration und Alterung zählen [Böttcher 1996]. So sind zum Beispiel die während der Lagerung zu beobachtenden Frischmasseverluste vor allem auf Atmungsverluste und Verluste durch die Transpiration zurückzuführen.

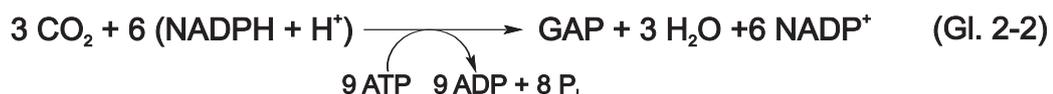
2.2.1 Photosynthese

Im Rahmen der Photosynthese nutzen Pflanzen das Sonnenlicht als Energiequelle für biochemische Reaktionen, und sind so in der Lage, aus Kohlendioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) Kohlenhydrate aufzubauen.

In der Lichtreaktion (Gl. 2-1) wird bei der Spaltung von Wasser Sauerstoff (O_2) freigesetzt und Wasserstoff auf $NADP^+$ (Nicotinamid-adenin-dinucleotidphosphat) übertragen, gleichzeitig erfolgt die Bildung von ATP (Adenosin-5'-triphosphat) aus ADP (Adenosin-5'-diphosphat) und anorganischem Phosphat (P_i). Die für die Wasserspaltung erforderliche Energie wird durch die Absorption von Lichtquanten ($h\nu$) durch Farbstoffmoleküle (vor allem Chlorophyll a und b, aber auch Carotinoide) geliefert. Antennenpigmente sammeln hierzu die Lichtenergie und leiten sie an die Chlorophyllmoleküle der Reaktionszentren (P_{680} bzw. P_{700}) der Photosysteme II und I weiter. Sowohl die Farbstoffmoleküle, als auch die für die Lichtreaktion erforderlichen Enzymkomplexe (unter anderem Photosystem II und I) sind in grünen Pflanzen und Algen in den Thylakoidmembranen der Chloroplasten lokalisiert [Doenecke 2005].



Die Lichtreaktion ist über die Bereitstellung von ATP und NADPH mit dem Calvin-Zyklus (Dunkelreaktion) verbunden, der die Biosynthese von Kohlenhydraten aus CO_2 ermöglicht. Im ersten Schritt des Calvin-Zyklus wird hierzu zunächst CO_2 an Ribulose-1,5-bisphosphat angelagert, anschließend folgt die hydrolytische Spaltung in zwei Moleküle 3-Phosphoglycerat. Das entstehende 3-Phosphoglycerat wird unter ATP-Verbrauch mit NADPH als Reduktionsmittel zu Glycerinaldehyd-3-phosphat (GAP) reduziert. Aus fünf Molekülen Glycerinaldehyd-3-phosphat können durch Umkehrung des Pentosephosphat-Zyklus wiederum drei Moleküle Ribulose-1,5-bisphosphat aufgebaut werden, so dass der Calvin-Zyklus geschlossen wird.



Nach drei Umläufen des Calvin-Zyklus, in denen jeweils ein CO_2 fixiert wird, entsteht somit ein Molekül Glycerinaldehyd-3-phosphat (Gl. 2-2), das von der Pflanze zur Synthese von Saccharose sowie zum Aufbau von Stärke genutzt werden kann [Doenecke 2005].