

Sorten- und Umwelteinflüsse auf das Glucosinolat-Spektrum von Körnerraps

M. Werteker und G. Kramreither

Influence of Variety and Environment on the Spectrum of Glucosinolates in Rape-Seed

1. Einleitung

Neben dem Ölgehalt ist vor allem der Anteil an Glucosinolaten ein wesentliches Qualitätskriterium bei Körnerraps. Glucosinolaten sind Thioglykoside, welche vor allem in der Familie der Brassicaceae weit verbreitet und zum Teil sogar erwünscht sind. So verdanken etwa alle Arten von Kohlgemüse diesen Substanzen ihr charakteristisches Aroma. Den Indolylglucosinolaten werden darüber hinaus auch ernährungsphysiologisch positive Eigenschaften zugeschrieben (WATTENBERG und LOUB, 1978; STOEWSAND et al., 1978; BJELDANES et al., 1991). Insbesondere wird über die Abschwächung der cancerogenen Wirkung verschiedener Giftstoffe berichtet.

Im Zusammenhang mit der Verwendung von Raps und Rapsprodukten als Futtermittel stehen jedoch meistens die negativen Wirkungen der Glucosinolaten im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit. Diese werden besonders von den Alkenyl- und Phenylglucosinolaten hervorgerufen. So wird bereits in frühen Arbeiten über die Ergebnisse von Fütterungsversuchen an Mäusen berichtet, in welchen es durch p-Hydroxybenzylglucosinolat (Sinalbin) zu einem deutlichen Rückgang der Gewichtszunahme der Tiere kam. Die schädigende Wirkung wurde dem aus dem Glucosinolat entstandenen Thiocyanat-Ion zugeschrieben, welches die von der Thyroidperoxidase katalysierte Oxidation von Jodid zu Jod kompetitiv hemmt (JOSEFSSON und UPPSTRÖM, 1976). In Fütterungsversuchen mit Ratten wurden

Summary

The level of total glucosinolates and the spectrum of glucosinolates in rapeseed were analysed during the harvests 1999, 2000 and 2001 by HPLC. A significant influence of the year on the total glucosinolate level was observed, which concerned all glucosinolates to approximately the same extent. Much more significant was the interrelation between the level of glucosinolates and the variety. It was evident, that the variety influenced mostly the alkenyl-glucosinolates Progoitrin and Gluconapin. The level of 4-Hydroxy-Glucobrassicin was more or less not influenced by the variety. According to the results presented there was no influence of the location. Other glucosinolates than the ones mentioned above were only found in amounts not able to influence the total level of glucosinolates significantly.

Key words: Glucosinolates, Rape-seed.

Zusammenfassung

Gesamtglucosinolatgehalt und Glucosinolatspektrum von Körnerraps wurden während der Ernten 1999, 2000 und 2001 nach der HPLC-Methode analysiert und aufgezeichnet. Es konnte ein deutlicher Einfluss des Erntejahres auf den Gesamtglucosinolatgehalt beobachtet werden, welcher alle Glucosinolaten in etwa gleichem Ausmaß betraf. Wesentlich stärker trat jedoch die Wechselwirkung zwischen Glucosinolatgehalt und Sorte zu Tage. Es zeigte sich auch, dass der Sorteneinfluss vor allem die Alkenylglucosinolaten Progoitrin und Gluconapin betraf. Der Gehalt an 4-Hydroxy-Glucobrassicin blieb von Sortenfaktoren weitgehend unberührt. Der Anbauort hat nach den vorliegenden Daten keinen Einfluss gehabt. Andere als die genannten Glucosinolaten wurden nur in so geringen Mengen gefunden, dass sie den Gesamtglucosinolatgehalt kaum beeinflussten.

Schlagworte: Glucosinolate, Raps.

unter anderem die Wirkungen von Progoitrin untersucht. Es kam zu einer geringfügigen Erhöhung des Gewichtes der Leber und bereits bei geringen Konzentrationen von Progoitrin und anderen Glucosinolaten zu einer Verkleinerung der Nebennieren. Die auffälligste Wirkung zeigte sich jedoch in einer deutlichen Vergrößerung der Schilddrüse. Auch in diesem Falle wird eine kompetitive Hemmung der Thyroidperoxydase durch Thiocyanate vermutet. Allerdings zeigte auch Oxazolidin-2-Thion (Goitrin) eine schilddrüsenvergrößernde Wirkung, wodurch ersichtlich ist, dass dieser Effekt nicht nur durch Thiocyanate hervorgerufen wird (BILLE et al., 1983). Andere Autoren berichten, dass nur Progoitrin eine Schädigung der Schilddrüse hervorruft, was gegen die Annahme einer Hemmung durch Thiocyanationen spricht, vor allem aber Progoitrin als Hauptursache der Probleme bei der Verfütterung von glucosinolathaltigen Rohstoffen in den Vordergrund stellt (VERMOREL et al., 1986 und 1988).

Auch in Schweinemastversuchen wurde ein Anstieg des Gewichtes der Schilddrüse und eine verminderte Gewichtszunahme mit steigendem Anteil von Raps bzw. Rapsextraktionsschrot in der Futtermittelration beobachtet. In diesen Versuchen wurde Raps mit einem Glucosinolatgehalt von durchschnittlich 14 $\mu\text{mol/g}$ bzw. Presskuchen mit 10,5 $\mu\text{mol/g}$ fettfreier Trockensubstanz verwendet. Beeinträchtigungen sowohl der Gewichtszunahme als auch der Schilddrüse konnten ab einem Anteil von mehr als 150 g Extraktionsschrot pro kg Futter beobachtet werden. Es wird allerdings auf die Möglichkeit einer höheren Zumischung bei Raps mit noch niedrigerem Glucosinolatgehalt hingewiesen (MULLAN et al., 2000). Ein wesentlicher Faktor für die beschränkte Verwendbarkeit von Raps und Rapsextraktionsschrot in der Tierfütterung ist der von den Glucosinolaten verursachte Geschmack der Futtermittel, welcher zu einer reduzierten Futteraufnahme führt. In Fütterungsversuchen mit laktierenden Sauen konnte ab einem Glucosinolatgehalt von 4,2 $\mu\text{mol/g}$ in der Futtermittelration eine signifikante Abnahme der Futteraufnahme festgestellt werden. Bei 1,9 $\mu\text{mol/g}$ waren hingegen keine Auswirkungen zu beobachten. Zumischung von 150 g Rapsextraktionsschrot pro kg Futter senkte den Proteingehalt der Milch (SCHÖNE et al., 1998).

Bei Schafen wurde eine Abhängigkeit der Futterakzeptanz vom angebotenen Glucosinolatspektrum beobachtet, wobei vor allem die Alkenylglucosinolate zu einer Abnahme der Futteraufnahme führten (SARWAR et al., 1997).

In Anbetracht der erwähnten Eigenschaften der Glucosinolate ist daher den Einflüssen auf Glucosinolatgehalt und

-spektrum Aufmerksamkeit zu widmen. Wenn man Sorteneinflüsse vorerst außer Betracht lässt, wurde ursprünglich vor allem ein Zusammenhang mit der Schwefelernährung der Pflanze gesehen. Beziehungen zwischen Bodensulfatgehalt und Glucosinolatgehalt wurden gefunden (OFENHITZER, 1990 und 1991; CRAMER, 1990; SCHNUG, 1987). Diese waren aber unterschiedlich stark ausgeprägt, sodass davon auszugehen ist, dass auch noch andere wesentliche Einflussfaktoren bestehen. Unter anderem wurde auch ein Zusammenhang mit dem Rohprotein-gehalt der Rapsamen gefunden (WERTEKER, 1991). Diese Beobachtung wird durch neuere Arbeiten ergänzt. So bewirkte etwa eine Steigerung der Schwefeldüngung nicht nur einen Anstieg des Glucosinolatgehaltes sondern auch der Stickstoffaufnahme durch die Pflanze (FISMES et al., 2000). In Versuchen mit ^{35}S zeigte sich, dass der Schwefeltransfer von den Schoten in die Samen durch die Stickstoffversorgung der Pflanze beeinflusst wird (FISMES et al., 1999). Schwefel liegt in den Schoten vor allem als Sulfat vor, während in den Samen die Glucosinolate als Schwefelverbindungen in den Vordergrund treten. Zunahmen des Gesamtschwefelgehaltes gingen in erster Linie mit einem Anstieg des Sulfatgehaltes einher (MATULA und ZUKALOVA, 2001a). Dies kann als weiterer Hinweis betrachtet werden, dass der Zusammenhang zwischen Schwefelversorgung und Glucosinolatgehalt der Körner nur eher mittelbar zu sehen ist. Neuere Arbeiten neigen in vielen Fällen dazu, der Beziehung zwischen Schwefelversorgung und Glucosinolatgehalt geringere Bedeutung beizumessen. So wird etwa der Sulfat- bzw. Gesamtschwefelgehalt in den Blättern zwar als Indikator für das Ausmaß der Schwefelversorgung gesehen, es wird aber ausdrücklich festgestellt, dass dieser nur in einem geringen Zusammenhang mit dem Glucosinolatgehalt steht (MATULA und ZUKALOVA, 2001b). Auch andere Autoren neigen eher dazu die Bedeutung von Umwelteinflüssen abzuschwächen und sehen diese vor allem für den Öl- und Eiweißgehalt als wichtig an (PRITCHARD et al., 2000; CHAKRABORTY und DAS, 2000; BUTKUTE et al., 2000). Darüber hinausgehend wird gelegentlich sogar jeder Einfluss der Umwelt auf das Glucosinolatspektrum in Zweifel gezogen. Lediglich Beschädigungen der Pflanze, wie z. B. Insektenbefall, führten demnach zu einer gewissen Erhöhung der Indolylglucosinolate (SARWAR und KIRKEGAARD, 1998). Bezüglich des Einflusses von Hitze bzw. Trockenheit bestand in der älteren, meist auf Beobachtungen aus dem praktischen Anbau bezugnehmenden Literatur Uneinigkeit. Nach jüngeren Publikationen scheinen aber beide Faktoren zu höheren Glucosinolatkonzentrationen

nen in den Samen zu führen, wobei allerdings anzumerken bleibt, dass es sich zumindest bei einigen der vorliegenden Versuche um Provokationsversuche handelt (JENSEN et al., 1996; AKSOUH et al., 2001; NOVAK und HASLBERGER, 2000). Keinen Einfluss scheint die Bestandesdichte zu haben (LEACH et al., 1999). Interessant ist auch die Feststellung höherer Glucosinolatgehalte mit steigender Korngröße, wenngleich daraus auch nur geringer praktischer Nutzen gezogen werden kann, da größere Körner wegen des höheren Nährwertes und des geringeren Rohfaseranteiles ernährungsphysiologisch wesentlich günstiger sind (BUTKUTE et al., 2000; LIU et al., 1995).

Die wesentlichsten Fortschritte bei der Senkung des Glucosinolatgehaltes von Körnererbsen konnten zweifellos durch die Züchtung erreicht werden, wobei dies vor allem durch Reduktion des Gehaltes an Alkenylglucosinolaten erreicht wurde. Es zeigte sich, dass die Glucosinolate in den vegetativen Teilen der Pflanze nur bedingt mit denen der Samen in Zusammenhang stehen. So unterschieden sich etwa die Glucosinolatspektren. Grundsätzlich konnte aber doch die Tendenz gefunden werden, dass in 00-Sorten auch in den vegetativen Geweben niedrigere Glucosinolatgehalte auftraten als bei den 0-Sorten (KRZYMANSKA et al., 1997).

2. Material und Methoden

Zur Untersuchung gelangte Körnererbsen aus den amtlichen Sortenversuchen der Jahre 1999, 2000 und 2001. Versuche wurden an folgenden Orten durchgeführt: Eichfeld (EICH), Fuchsenbigl (FBGL), Tulln (TULL), Unterwaltersdorf (UWDF), Wieselburg (WIBG), Großnondorf (GNDF), Lambach (LAMB), Zinsenhof (ZINS), mittleres Burgenland (MBGL), Ritzlhof (RITZ). Als Standardsorten gelangten Artus, Contact, Dexter, Embleme, Mohican und Smart zum Anbau. Die Glucosinolate wurden mit HPLC nach der EU-Methode (ANONYM, 1990) analysiert, wobei der Gesamtglucosinolatgehalt, sowie die Gehalte an Progoitrin (PROG), Napoleiferin (NAPL), Gluconapin (NAP),

4-Hydroxy-Glucobrassicin (HYBRA), Glucobrassicinapin (BRANAP), Glucobrassicin (BRAS), Gluconasturtiin (NAST) und Neoglucobrassicin (NBRAS) gemessen wurden.

3. Ergebnisse

Die Gesamtglucosinolatgehalte (Tabelle 1) der Standardsorten zeigen einen deutlichen Jahreseinfluss. Während die Werte in den Jahren 1999 und 2000 etwa im Bereich von 11 bis 12 $\mu\text{mol/g}$ lufttrockener Rapssaat lagen, war 2001 ein Anstieg auf 13,5 bis 17 $\mu\text{mol/g}$ zu beobachten. Die Differenzen der Jahresmittelwerte sind entsprechend der Varianzanalytischen Untersuchung zum Teil hochsignifikant ($P < 0,001$). Durch Anwendung des multiplen t-Tests wird deutlich, dass dieses Ergebnis auf die deutlich höheren Gesamtglucosinolatgehalte des Erntejahres 2001 gegenüber den Jahren 1999 und 2000 zurückzuführen ist. Die Zuordnung von Tendenzen zu hohen oder niedrigen Gehalten an bestimmten Versuchsstandorten war durch den jährlichen Wechsel der Standorte nicht möglich. Vergleicht man aber die Ergebnisse innerhalb eines Jahrganges, so ist festzustellen, dass nicht mehr als zufällige Differenzen auftreten. In der Ernte des Jahres 1999 konnten zwischen den Anbauorten mittels Varianzanalyse für die Unterschiede der Mittelwerte der Gesamtglucosinolatgehalte aus den Standardsorten lediglich eine Signifikanz von $P = 0,774$ gefunden werden. 2000 lag der Wert bei $P = 0,700$ und 2001 bei $0,572$.

Der durchschnittliche Gesamtglucosinolatgehalt der Standardsorten stieg von knapp über 11 $\mu\text{mol/g}$ in den Erntejahren 1999 und 2000 auf 15,3 $\mu\text{mol/g}$ im Jahr 2001 an (Tabelle 1). In den Jahren 1999 und 2000 erreichte der Gesamtglucosinolatgehalt somit nur etwa 74 % des Wertes von 2001 (Tabelle 2). Diesem Anstieg folgte der Gehalt an PROG, dem Glucosinolat, welches etwa die Hälfte des Gesamtgehaltes ausmacht, proportional. Bei NAP und HYBRA lagen die Werte 1999 bei etwa 90 bzw. 81 %, 2000 aber nur bei 78 bzw. 72 % des Jahres 2001. Das Absinken der Werte von NAP und HYBRA im Jahr 2000 konnte mit

Tabelle 1: Jahresmittelwerte der Gesamtglucosinolatgehalte an den Versuchsstandorten in den Erntejahren 1999 bis 2001 ($\mu\text{mol/g}$ lufttrockene Saat)
Table 1: Average of Glucosinolate Levels in different Locations in the Years 1999–2001 ($\mu\text{mol/g}$ airdry seed)

	EICH	FBGL	TULL	UWDF	WIBG	GNDF	LAMB	ZINS	MBGL	RITZ
1999	10,5	10,9	11,8	12,1						
s	3,0	3,1	2,9	3,1						
2000	10,3			10,6	11,9	11,2	11,8			
s	2,3			2,8	1,9	2,2	2,4			
2001			14,5			16,5	13,5	14,6	15,2	17,1
s			3,6			3,6	2,4	3,4	2,5	5,9

einer Signifikanz von $P < 0,05$ bzw. $P < 0,02$ festgestellt werden. Diese Glucosinolate zeigen somit in begrenztem Umfang durchaus ein von PROG bzw. GES unabhängiges Verhalten. Zum Anstieg des Gesamtglucosinolatgehaltes im Jahr 2001 tragen aber diese beiden Glucosinolate ebenfalls in etwa proportionalem Ausmaß bei. Insbesondere bei HYBRA kann daher durchaus von einem zum Gesamtglucosinolatgehalt parallelen Verlauf gesprochen werden. Die Gehalte an NAPL, BRANAP, BRAS, NAST und NBRAS wurden nicht in die Betrachtungen mit einbezogen, da sie nur in Mengen gefunden werden konnten, die zum Teil weit unter $1 \mu\text{mol/g}$ lagen und daher durch die zu erwartende Streuung der Analysenwerte allenfalls auftretende Trends weitgehend überdeckt würden. Wegen der niedrigen Gehalte an diesen Glucosinolaten ist kaum mit nennenswerten physiologischen Einflüssen zu rechnen. Aus den Tabellen 2 und 3 ist auch der Sorteneinfluss auf den Glucosinolatgehalt zu erkennen. Die Variationsbreite zwi-

schen den mittleren Gesamtglucosinolatgehalten der Standardsorten betrug 1999 $8,5 \mu\text{mol/g}$ (75,1 % des Jahrgangsmittelwertes), 2000 $6,7 \mu\text{mol/g}$ (60,0 % des Jahrgangsmittelwertes) und 2001 $11,1 \mu\text{mol/g}$ (72,6 % des Jahrgangsmittelwertes). Der Sorteneinfluss auf den Glucosinolatgehalt ist somit größer als der Jahrgangseinfluss während der Beobachtungszeit, wo, wie berichtet, nur eine Differenz von etwa 26 % zwischen den Mittelwerten des Jahrganges 2001 und den beiden davor liegenden Jahren festgestellt werden konnte. Die Spannweite bei der sortenbedingten Variation der Einzelglucosinolate lag bei PROG mit Werten um $5 \mu\text{mol/g}$ (ca. 87,0 % des Jahrgangsmittelwertes), welche 2001 auf $7,5 \mu\text{mol/g}$ (93,8 % des Jahrgangsmittelwertes) anstiegen am höchsten. Bei HYBRA konnten hingegen maximale Unterschiede zwischen den Sorten von $1 \mu\text{mol/g}$ (42,3 % des Jahrgangsmittelwertes) im Jahr 1999 bzw. $0,5 \mu\text{mol/g}$ im Jahr 2000 und $0,4 \mu\text{mol/g}$ im Jahr 2001 entsprechend 23,7 und 13,6 % des jeweiligen Jahres-

Tabelle 2: Glucosinolatgehalte der Standardsorten (Mittelwerte über Standorte)

Table 2: Glucosinolate Levels of Standard Varieties (Average of Locations)

		GES	s	% v. 2001	PROG	s	% v. 2001	NAP	s	% v. 2001	HYBRA	s	% v. 2001
1999	ARTUS	7,4	0,34	72,3	3,3	0,30	71,0	1,9	0,07	91,4	1,8	0,13	68,0
	CONTACT	12,8	0,88	90,0	6,7	0,59	88,3	3,4	0,21	115,2	2,3	0,28	84,8
	DEXTER	11,5	1,64	68,1	5,9	0,82	63,2	2,7	0,32	74,1	2,7	0,28	94,4
	EMBLEME	15,9	0,94	74,3	8,6	0,63	70,7	4,2	0,20	90,9	2,3	0,44	76,1
	MOHICAN	9,9	0,99	69,2	4,7	0,29	69,2	2,2	0,26	89,2	2,1	0,14	71,1
	SMART	10,3	1,74	69,3	4,7	0,74	64,2	2,4	0,43	84,5	2,8	0,19	90,7
	Mittelwert	11,3		73,8	5,7		70,9	2,8		90,4	2,4		80,9
2000	ARTUS	8,1	0,79	78,9	4,0	0,42	85,0	1,8	0,19	89,2	1,8	0,19	64,4
	CONTACT	11,1	1,38	77,9	5,8	0,82	76,4	2,5	0,40	85,2	2,0	0,29	71,6
	DEXTER	11,5	1,21	68,2	6,1	0,33	66,1	2,4	0,34	66,6	2,1	0,28	74,9
	EMBLEME	14,8	0,54	69,2	8,5	0,42	69,8	3,5	0,30	74,8	2,2	0,13	71,9
	MOHICAN	11,6	1,15	81,0	5,6	0,45	81,4	2,1	0,11	82,5	2,3	0,27	75,4
	SMART	9,8	0,96	65,7	4,6	0,45	63,7	2,1	0,19	75,4	2,3	0,31	75,0
	Mittelwert	11,2		72,7	5,8		72,4	2,4		77,6	2,1		72,3
2001	ARTUS	10,3	0,96	100,0	4,7	0,52	100,0	2,1	0,23	100,0	2,7	0,19	100,0
	CONTACT	14,2	0,91	100,0	7,6	0,54	100,0	3,0	0,30	100,0	2,8	0,26	100,0
	DEXTER	16,9	1,35	100,0	9,3	0,65	100,0	3,6	0,26	100,0	2,9	0,15	100,0
	EMBLEME	21,4	4,40	100,0	12,2	2,76	100,0	4,7	1,27	100,0	3,0	0,19	100,0
	MOHICAN	14,4	1,48	100,0	6,8	0,64	100,0	2,5	0,21	100,0	3,0	0,38	100,0
	SMART	14,8	0,86	100,0	7,3	0,34	100,0	2,8	0,16	100,0	3,1	0,11	100,0
	Mittelwert	15,3		100,0	8,0		100,0	3,1		100,0	2,9		100,0

Tabelle 3: Signifikanz der Differenzen zwischen den Mittelwerten der Gesamtglucosinolatgehalte (über die Standorte)

Table 3: Significance of Differences between Averages of Total Glucosinolate Levels (over all Locations)

1999		2000		2001	
ARTUS – MOHICAN	0,017	ARTUS – SMART	0,003	ARTUS – CONTACT	0,001
MOHICAN – SMART	0,763	SMART – CONTACT	0,124	CONTACT – MOHICAN	0,688
SMART – DEXTER	0,063	CONTACT – DEXTER	0,588	MOHICAN – SMART	0,541
DEXTER – CONTACT	0,078	DEXTER – MOHICAN	0,899	SMART – DEXTER	0,016
CONTACT – EMBLEME	0,021	MOHICAN – EMBLEME	0,006	DEXTER – EMBLEME	0,094

mittelwertes beobachtet werden. Wie daraus ersichtlich ist, war hier keine Zunahme des Unterschiedes zwischen den Sorten im Jahr 2001 festzustellen. Die Untersuchung der Signifikanz der Differenzen zwischen den Gesamtglucosinolatgehalten der Sorten zeigt, dass das hohe Signifikanzniveau vor allem auf die besonders niedrigen Werte von Artus und die eher höheren Werte von Embleme zurückzuführen war. Die Sorten Contact, Dexter, Mohican und Smart lagen bezüglich dieses Merkmals auf etwa gleichem Niveau und waren daher nicht signifikant unterscheidbar bzw. änderten bei Anordnung nach dem Glucosinolatgehalt in den 3 Beobachtungsjahren ihre Reihenfolge (Tabelle 3).

Durch Aufzeichnung der prozentmäßigen Anteile des Gesamtglucosinolatgehaltes und der Einzelglucosinolate am Versuchsmittelwert (d.h. dem Mittelwert aus allen Ergebnissen einer Sorte in den drei Versuchsjahren) kann dargestellt werden in welchem Ausmaß die einzelnen Komponenten am Zustandekommen des Gesamtglucosinolatgehaltes beteiligt sind (Abbildung 1). Die geringsten Schwankungen sind bei HYBRA zu beobachten, d.h. bei diesem Glucosinolat kommt es kaum zu sortenspezifischen Variationen. Die geringen festgestellten Unterschiede – etwa der etwas höhere Wert bei der Sorte Smart – führten zu keiner merklichen Beeinflussung des Gesamtglucosinolatgehaltes. Dieser wurde viel mehr von PROG und NAP beeinflusst. Aus der Graphik ist zu sehen, dass die Gehalte an PROG und NAP deutlich mit dem Gesamtglucosinolatgehalt steigen.

Die Werte der Prüfstämme bestätigen grundsätzlich die an den Standardsorten getätigten Beobachtungen (Tabelle 4). Der Jahrgangseinfluss kommt allerdings in wesentlich geringerem Umfang zur Geltung. Die in den einzelnen Jahren zu beobachtenden Spannweiten zwischen den höchsten und niedrigsten Werten sind allerdings in Folge der

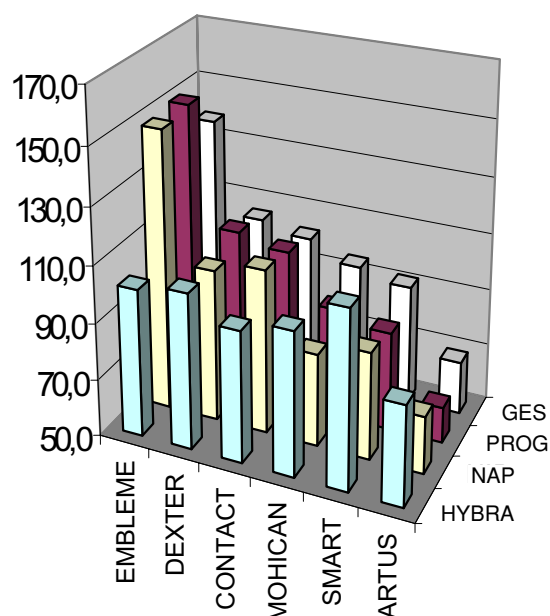


Abbildung 1: Glucosinolatgehalte in % vom Versuchsmittel
Figure 1: Glucosinolate Levels in % of Average

größeren Zahl der untersuchten Stämme und der oft schwer einzuschätzenden Einflüsse des zu untersuchenden Materials wesentlich höher. Als wichtige Beobachtung kann aber festgehalten werden, dass auch bei den Prüfstämmen PROG gefolgt von NAP die Haupteinflusskomponente auf den Glucosinolatgehalt darstellt. Bei PROG waren Spannweiten zwischen etwa 10 und 12 $\mu\text{mol/g}$, bei NAP solche von 3,5 bis 5 $\mu\text{mol/g}$ festzustellen. Die bei HYBRA gemessenen Vergleichswerte lagen um 1 $\mu\text{mol/g}$ und bestätigen somit die bereits bei den Standardsorten gemachte Beobachtung, dass die sortenbedingte Variation des Glucosinolatgehaltes vor allem durch PROG und NAP hervorgerufen wird.

Tabelle 4: Glucosinolatgehalte der Prüfstämme in $\mu\text{mol/g}$
Table 4: Glucosinolate Levels of Breeding Lines in $\mu\text{mol/g}$

		GES	PROG	NAP	HYBRA
1999	Mittelwert	11,3	5,8	2,8	2,3
	Minimum	5,0	1,6	0,8	1,8
	Maximum	22,6	13,9	5,8	3,3
	Spannweite	17,6	12,3	4,9	1,4
2000	Mittelwert	11,6	6,3	2,6	2,0
	Minimum	4,8	2,4	0,8	1,5
	Maximum	20,7	13,4	5,3	2,3
	Spannweite	15,9	11,0	4,4	0,8
2001	Mittelwert	13,8	6,9	2,7	2,9
	Minimum	9,1	3,6	1,6	2,1
	Maximum	23,3	13,3	5,1	3,4
	Spannweite	14,2	9,7	3,5	1,3

4. Diskussion

An Hand der vorliegenden Ergebnisse können sowohl Umwelt- als auch Sorteneinflüsse auf Glucosinolatgehalt und -spektrum erkannt und interpretiert werden. Zunächst ist festzustellen, dass ein deutlicher Jahrgangs- und somit ein Umwelteinfluss beobachtet werden konnte. Es ist somit möglich, die in der Einleitung zitierte Widersprüchlichkeit der Aussagen verschiedener Autoren zu bewerten, da der Glucosinolanstieg im Erntejahr 2001 hoch signifikant ($P < 0,001$ %) war. Allerdings waren die umweltbedingten Variationen geringer als die sortenbedingten. Da innerhalb eines Jahrganges keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen an verschiedenen Versuchsstandorten auftraten, ist wohl davon auszugehen, dass Standortfaktoren, wie etwa die Bodenbeschaffenheit (z.B. Schwefelgehalt des Bodens) keinen nachweisbaren Einfluss auf den Glucosinolatgehalt nahmen. Die beobachtete Differenzierung zwischen den Jahrgängen ist also mit einiger Sicherheit dem jahresspezifischen Witterungsverlauf zuzuschreiben. Dies ist in guter Übereinstimmung mit jenen vor allem in jüngerer Zeit vermehrt aufgetretenen Meinungen, welche insbesondere der Schwefelversorgung nur geringe Bedeutung beimessen. Der Gegensatz zwischen jüngeren und älteren Arbeiten über den Einfluss der Schwefelversorgung könnte z. B. dadurch erklärt werden, dass bei neueren Sorten der Glucosinolatstoffwechsel wesentlich effizienter durch Züchtungsmaßnahmen gehemmt wird als bei dem vor etwa 10 Jahren am Markt befindlichen Material. Diese Annahme wird in gewissem Ausmaß auch von den vorliegenden Ergebnissen gestützt. Wenn auch, wie bereits erwähnt, keine Hinweise auf signifikante Standorteinflüsse gefunden werden konnten, so zeigte sich doch, dass der Jahrgangseinfluss bei den Sorten mit den höchsten sortenspezifischen Glucosinolatgehalten am stärksten war. Betrachtet man den Umwelteinfluss auf das Glucosinolatspektrum, so ist zu erkennen, dass dieser sowohl auf die Jahrgangsmittelwerte der Alkenylglucosinolate PROG und NAP als auch auf den des Indolylglucosinolates HYBRA in etwa gleichem Ausmaße wirkt. Alle genannten Glucosinolategehalte erreichten in den Erntejahren 1999 und 2000 im Durchschnitt nur etwa 70 % des Wertes von 2001 – die Ausnahmen von NAP und HYBRA wurden bereits erwähnt. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied des Umwelteinflusses gegenüber dem Sorteneinfluss dar. Daraus folgt, dass der bei Sorten mit höherem Gesamtglucosinolatgehalt beobachtete stärkere Jahrgangseinfluss zwar nur proportional zum sortenspezifischen Gesamtglucosinolatgehalt zum Tragen

kommt, dennoch kann als Konsequenz für die landwirtschaftliche Praxis daraus die Erkenntnis gezogen werden, dass die Wahl einer glucosinolatarmen Sorte nicht nur für die Erzeugung eines qualitativ hochwertigen Produktes bei optimalem Witterungsverlauf wichtig ist, sondern darüber hinaus auch einen erhöhten Schutz gegen Qualitätsverluste bei ungünstigeren Bedingungen bietet, woraus gegebenenfalls sogar die Stoßung einiger Partien resultieren könnte. Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurden keine weitergehenden Untersuchungen angestellt, um die in anderen Arbeiten beschriebenen Einflüsse von Hitze und Trockenheit unter den Bedingungen des praktischen Feldbaues zu überprüfen, da dazu detaillierte Zuordnungen von Klimadaten zu den Entwicklungsstadien der Pflanzen erforderlich wären und dies den Rahmen dieser Studie überschreiten würde.

Die Maßnahmen im Rahmen der Züchtung glucosinolatarmen Sorten führten zu einer Veränderung des Glucosinolatspektrums, da die Reduktion des Glucosinolatgehaltes vor allem zu Lasten der Alkenylglucosinolate erfolgte. Dies wird auch von den vorliegenden Ergebnissen bestätigt. An Hand der Zusammenstellung der Glucosinolatgehalte der Standardsorten ist zu sehen, dass sich die Gehalte an HYBRA innerhalb eines Jahrganges kaum unterscheiden und die deutlichen Unterschiede der Gesamtglucosinolatgehalte nur durch Variationen von PROG und NAP verursacht werden. Bei Darstellung der Variationsbreiten der Einzelglucosinolate zwischen den Sorten in Prozent des Jahrgangsmittelwertes des jeweiligen Glucosinolates kann beobachtet werden, dass die Variationsbreite bei PROG mit etwa 90 % wesentlich höher als bei HYBRA mit 13,6 bis 42,3 % ist. Die sortenbedingte Variation der Glucosinolatgehalte wird somit hauptsächlich von den Alkenylglucosinolaten verursacht. Die bessere Eignung glucosinolatarmen Sorten für Fütterungszwecke ist somit nicht nur auf einen niedrigeren Gesamtglucosinolatgehalt zurückzuführen, sondern auch auf eine günstige Beeinflussung des Glucosinolatspektrums.

Ebenso wie bei den Standardsorten konnte der Anstieg der Glucosinolate im Erntejahr 2001 auch bei den Prüfstämmen gefunden werden. Allerdings dominierte in diesem Fall die sortenbedingte Streuung der Glucosinolatgehalte noch mehr als bei den Standardsorten über die durch den Jahrgangseinfluss hervorgerufenen Variationen und wurde auch hier hauptsächlich von den Alkenylglucosinolaten hervorgerufen. Die große Spannweite der beobachteten Werte, weist aber auch auf die nach wie vor hohe Bedeutung der Überwachung der Glucosinolatgehalte im Zuge der Sortenwertprüfung hin.

Neben Stämmen mit auffällig niedrigen Glucosinolatgehalten von 6 µmol/g und weniger sind auch immer wieder solche zu finden, bei welchen Gesamtglucosinolatgehalte von mehr als 23 µmol/g zu beobachten sind. Abgesehen von dem für Futtermittel in der EU geltenden Grenzwert für Senföle, scheinen in Anbetracht der in der Einleitung genannten Grundlagen auch physiologische und fütterungstechnische Gründe die Einhaltung niedriger Glucosinolatgehalte in Raps als durchaus erstrebenswertes Ziel von großer Bedeutung nahezulegen. Die geeignete Sortenwahl zählt zu den effizientesten Mitteln zur Erreichung dieses Zieles.

Literatur

- AKSOUH, N. M., B. C. JACOBS, F. L. STODDARD and R. J. MAILER (2001): Response of Canola to different Heat Stresses. *Australian Journal of Agricultural Research* 52(8), 817–824.
- ANONYM (1990): Bestimmung des Ölsaaten-glucosinolatgehaltes durch HPLC. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 170/28 v. 03. 07. 1990*.
- BILLE, N., B. O. EGGUM, I. JACOBSEN, O. OLSEN and H. SORENSEN (1983): Antinutritional and Toxic Effects in Rats of Individual Glucosinolates (+-Myrosinases) added to Standard Diet. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde* 49, 195–210.
- BJELDANES, L. F., J.-Y. KIM, K. R. GROSE, J. C. BARTOLOMEW and C. A. BRADFIELD (1991): Aromatic Hydrocarbon Responsiveness-Receptor Antagonist Generated from Indole-3-Carbinol in vitro and in vivo: Comparison with 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin. *Proceedings of the National Academy of Science* 88, 9543–9547.
- BUTKUTE, B., A. MASAUKIENE, G. SIDLAUSKAS and L. SLIESARAVICIENE (2000): Accumulation of Glucosinolates in the Seed of Spring Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Sodininkyste ir Darzininkyste* 19, 3(2), 294–305.
- CHAKRABORTY, A. K. and D. K. DAS (2000): Interaction between Boron and Sulphur on different Quality Parameters of Rape (*Brassica campestris* L.). *Research on Crops* 1(3), 326–329.
- CRAMER, N. (1990): Schwefelernährung des Rapses – Erfahrungen aus Schleswig – Holstein. *Raps* 8(1), 8–11.
- FISMES, J., P. C. VONG and A. GUCKERT (2000): Use of Sulphur-35 for tracing Sulphur Transfers in developing Pods of field grown Oilseed Rape. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30(1–2), 221–234.
- FISMES, J., P. C. VONG, A. GUCKERT and E. FROSSARD (2000): Influence of Sulphur on apparent N-use Efficiency, Yield and Quality of Oil Seed Rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous Soil. *European Journal of Agronomy* 12(2), 127–141.
- JENSEN, C. R., V. O. MOGENSEN, G. MORTENSEN, J. K. FIELDSSEND, G. F. J. MILFORD, M. N. ANDERSEN and J. H. THAGE (1996): Seed Glucosinolate, Oil and Protein Contents of Field grown Rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying and evaporative demand. *Field Crops Research* 47(2–3), 93–105.
- JOSEFSSON, E. and B. UPPSTRÖM (1976): Influence of Sinalpine and p-Hydroxybenzyl-glucosinolate on the Nutritional Value of Rapeseed and White Mustard Meals. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 27, 438–442.
- KRZYMANSKA, J., E. LISIECKA and D. NAWROT (1997): The Content and Composition of Glucosinolates in Genetically different Varieties of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Protection Research* 37(1–2), 104–108.
- LEACH, J. E., H. J. STEVENSON, A. J. RAINBOW and L. A. MULLEN (1999): Effects of high Plant Populations on the Growth and Yield of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science* 132(2), 173–180.
- LIU, Y. G., S. K. JENSEN and B. O. EGGUM (1995): The Influence of Seed Size on Digestibility and Growth Performance of Broiler Chickens fed Full-fat Rapeseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67(1), 135–140.
- MATULA, J. and H. ZUKALOVA (2001a): Sulphur Concentrations and Distribution in three Varieties of Oilseed Rape in Relation to Sulphur Fertilization at a Maturity Stage. *Rostlinna-Vyroba* 47(1), 14–17.
- MATULA, J. and H. ZUKALOVA (2001b): Sulphur Concentrations and Distribution in three Varieties of Oilseed Rape in Relation to Sulphur Fertilization at Vegetative Stage. *Rostlinna-Vyroba* 47(1), 1–6.
- MULLAN, B. P., J. R. PULSKE, J. ALLEN and D. J. HARRIS (2000): Evaluation of Western Australian Canola Meal for growing Pigs. *Australian Journal of Agricultural Research* 51, 547–553.
- NOVAK, W. K. and A. G. HASELBERGER (2000): Substantial equivalence of antinutrients and inherent plant toxins in genetically modified novel foods. *Food and Chemical Toxicology* 38(6), 473–483.
- OFENHITZER, D. (1990): Schwefelversorgung in Unterfranken. *Raps* 8(1), 12–14.
- OFENHITZER, D. (1991): Ertragsstruktur und Glucosinolatgehalt von Körnerraps – Beobachtungen in Unterfranken. *Raps* 9(1), 18–20.

- PRITCHARD, F. M., H. A. EAGLES, R. M. NORTON, P. A. SALISBURY and M. NICOLAS (2000): Environmental Effects on Seed Composition of Victorian Canola. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40(5), 679–685.
- SARWAR, M. and J. A. KIRKEGAARD (1998): Biofumigation Potential of Brassicas. Effect of Environment and Ontogeny on Glucosinolate Production and Implications for Screening. *Plant and Soil* 201(1), 91–101.
- SARWAR, M., J. KIRKEGAARD, S. GOWERS and B. C. GARRETT (1997): Glucosinolate Content and Animal Acceptability of Forage Brassicas. *Cruciferae – Newsletter* 19, 13–14.
- SCHNUG, E. (1987): Die Bedeutung der Schwefelversorgung für den Gesamtglucosinolatgehalt von Rapssaat. *Raps* 4(4), 194–196.
- SCHÖNE, F., H. HARTUNG, G. JAHREIS, T. GRAF und F. TISCHENDORF (1998): Prüfung fettreicher Rapsfuttermittel (Saat und Kuchen) an Zuchtsauen – Futteraufnahme, Aufzuchtergebnisse und Milchfettzusammensetzung. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 79(3–4), 184–197.
- STOEWSAND, G. S., J. G. BABISH and H. C. WIMBERLY (1978): Inhibition of Hepatic Toxicities from Polybrominated Biphenyls and Aflatoxin B₁ in Rats fed Cauliflower. *Journal of Environmental Pathology and Toxicology* 2, 399–406.
- VERMOREL, M., R. K. HEANEY and G. R. FENWICK (1986): Nutritive Value of Rapeseed Meal: Effects of Individual Glucosinolates. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 37, 1197–1202.
- VERMOREL, M., R. K. HEANEY and G. R. FENWICK (1988): Antinutritive effects of the Rapeseed Meals Darmore and Jet Neuf and Progoitrin together with Myrosinases in the growing Rat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 44, 321–334.
- WATTENBERG, L. W. and W. D. LOUB (1978): Inhibition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon – Induced Neoplasia by Naturally Occuring Indoles. *Cancer Research* 38, 1410–1413.
- WERTEKER, M. (1991): Einflüsse auf den Glucosinolatgehalt des Körnerrapses durch die Schwefel- und Stickstoffernährung der Pflanze. *Die Bodenkultur* 42(3), 243–251.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Dr. Manfred Werteker, Ing. Gabriela Kramreither, Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau, Spargelfeldstraße 191, A-1226 Wien; e-mail: manfred.werteker@lwvie.ages.at

Eingelangt am 29. April 2002

Angenommen am 15. Juli 2002