

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Raps (*Brassica napus* L.) gehört zur Familie der Kreuzblütengewächse (*Brassicaceae*, *Cruciferae*) und ist vermutlich erst vor wenigen Jahrhunderten im Mittelmeerraum (FRANKE 1989) aus der spontanen Bastardisierung zwischen wildem Gemüsekohl (*B. oleracea* L.) und Rübsen (*B. rapa* L.) entstanden. Das Genom des amphidiploiden Rapses besteht aus $2n=38$ Chromosomen und setzt sich aus den Genomen der beiden Ausgangsformen zusammen. Das so genannte „U’sche Dreieck“ (Abb. 1), welches von dem Japaner MORINAGA (1934) und dem Koreaner U (1935) zum ersten mal publiziert wurde, zeigt die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den drei *Brassica*-Grundgenomen: das A-Genom von Rübsen (*B. rapa*, $2n=20$), das B-Genom des Schwarzen Senfes (*B. nigra*, $2n=16$) und das C-Genom des Kohls (*B. oleracea*, $2n=18$). Durch interspezifische Kreuzungen konnten MORINAGA und U die drei amphidiploiden Arten Raps (*B. napus* L., Genom AACC), Brauner oder Indischer Senf (*B. juncea* CERN., $2n=36$, Genom AABB) und Abessinischer bzw. Äthiopischer Senf (*B. carinata* BRAUN, $2n=34$, Genom BBCC) wiederherstellen. Durch diese so genannten „Resynthesen“ wurde die Herkunft der amphidiploiden *Brassica*-Arten zunächst morphologisch sowie später durch molekularbiologische Analysen erklärt (PALMER *et al.* 1983).

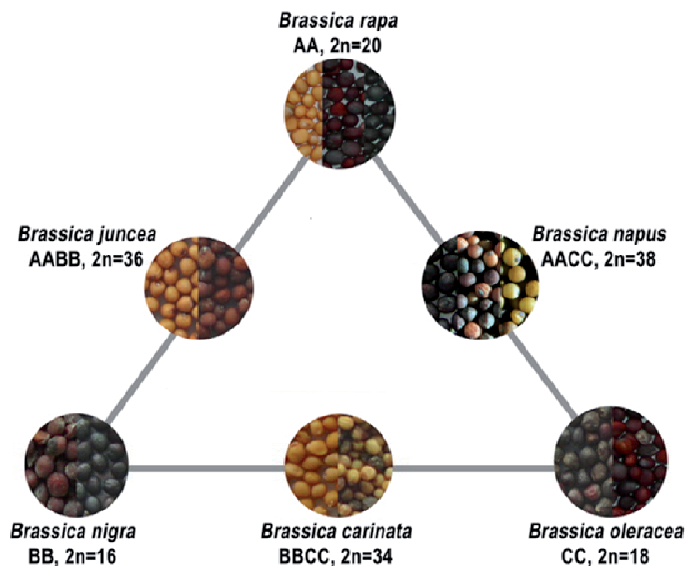


Abb. 1 - Verwandtschaftsbeziehungen in der Gattung *Brassica* nach U (1935). Raps (*B. napus*) hat normalerweise schwarze oder braune Samen, aber gelbsamige Formen können durch Kreuzungen mit den nahe verwandten Arten erzeugt werden.

Die *Brassica*-Arten sind die Ölfrüchte mit der größten Verbreitung in der gemäßigten Klimazone, u. a. in Nord- und Zentraleuropa, Kanada, China und Indien (vgl. FAOSTAT, <http://faostat.fao.org>). In Mitteleuropa wird vornehmlich der leistungsfähige und ertragreiche Winterraps angebaut (WALKER und BOOTH 2001).

Die rapide Entwicklung des Rapsanbaus in den letzten 25 Jahren stützt sich auf die enormen Erfolge der Pflanzenzüchtung, der es gelang, glucosinolatarme und erucasäurefreie Sorten zu entwickeln. Der so entstandene Doppel-Null (00) Raps wurde im Jahr 1987 in der BRD als Standardqualität eingeführt (RÖBBELEN 1999).

Aufgrund konsequenter und erfolgreicher Qualitätszüchtung ist Raps heutzutage eine der weltweit wichtigsten Ölpflanzen und Lieferant vielfältiger Ölqualitäten sowie der zweitwichtigste Lieferant pflanzlichen Eiweißes für die Tierernährung (WAN *et al.* 2002). Hinter der Sojabohne (220,5 Mio. t) hat Raps im Jahr 2007 mit 50,6 Millionen Tonnen Saat den zweiten Platz in der weltweiten Ölsaatenproduktion eingenommen. In Deutschland hat Winterraps mit ca. 1,5 Mio. ha Anbaufläche und einer Gesamt-Jahresproduktion von 5,3 Millionen Tonnen Saat (2007) eine dominierende Stellung im Vergleich zu Sonnenblume (19.161 ha, 50.862 t) und Lein (6.300 ha, 6.400 t). Die globale Produktion von Extraktionskuchen aus der Ölgewinnung (weltweit 204,5 Mio. t) geht zu etwa zwei Dritteln auf Sojabohne (115,8 Mio. t) und Raps (22,4 Mio. t) zurück (FAOSTAT 2007).

Raps (*B. napus* L.) stellt mit Abstand die wichtigste Ölsaat in Deutschland dar und dient aufgrund hoher Ölgehalte (40-50%) mit einer ernährungsphysiologisch günstigen Fettsäurezusammensetzung (hoher Ölsäureanteil, mehrfach ungesättigte Fettsäuren) primär als Öllieferant. In zunehmendem Maße wird die Wettbewerbsfähigkeit von 00-Körnerraps aber auch von der Inhaltsstoffzusammensetzung des Rapsmehles bzw. Schrotes als proteinreiches Koppelprodukt der Ölgewinnung bestimmt. Die politisch-rechtlichen Auswirkungen der BSE-Krise und die aktuellen Diskussionen über gentechnisch veränderte Sojabohnen (z.B. Herbizidresistenz) haben dazu geführt, dass einheimisch erzeugbare, pflanzliche Proteinquellen vermehrt nachgefragt werden und aus diesem Grund auch Rapsschrot verstärkt zum Einsatz kommt (LÜHS *et al.* 2001, FRIEDT *et al.* 2002). Der Selbstversorgungsgrad der EU bei Ölschroten beträgt derzeit immer noch weniger als 40% (vgl. GUNSTONE 2000, OILWORLD 2000).

Die verschiedenen Verwendungszwecke stellen unterschiedliche Anforderungen an die Qualität des Rapsöls. So dient Rapsöl nicht nur als Nahrungsmittel, sondern beispielsweise auch als Rohstoff für Pharmazeutika, Farben und Lacke, aber auch als Hydrauliköl in der Industrie. Darüber hinaus gewinnt Rapsöl als Rohstoff für „Biodiesel“ (Rapsmethylester,

RME) zunehmend an Bedeutung. Zusätzlich trägt das Rapsschrot als Koppelprodukt der Ölgewinnung zur Wettbewerbsfähigkeit von Raps bei, insbesondere gegenüber Sojaprodukten (LÜHS *et al.* 2000).

Rapsschrot enthält ca. 36-40% Protein mit einer günstigen Aminosäuren-Zusammensetzung und hohen Anteilen der in der Tierfütterung essentiellen Aminosäuren Lysin, Methionin und Cystein. Es zeichnet sich auch durch höhere Mineralstoff- und Vitamin-Gehalte aus. Aber herkömmliches Rapsschrot kann in der Tierernährung – insbesondere bei Monogastriern – aufgrund eines relativ hohen Rohfasergehaltes - nur begrenzt eingesetzt werden und findet daher überwiegend in der Wiederkäuerfütterung Einsatz (SCHÖNE 1993, HENKEL 1994). Um die Verwendungsmöglichkeiten des wertvollen Rapsproteins – auch in der Humanernährung – zu verbessern, gilt es nun, den Gehalt an wertmindernden Schrotinhaltsstoffen wie Rohfaser (insbes. Lignin) und einer Reihe weiterer antinutritiver Substanzen (u.a. Tannine, Phytate und Sinapine) zu reduzieren. Zu den antinutritiven Stoffen zählen auch die phenolischen Verbindungen und die Isothiocyanate, die Abbauprodukte der Glucosinolate. Die phenolischen Verbindungen umfassen phenolische Säuren und die Tannine.

Tannine können einen ungünstigen Einfluss auf die Verdauung haben, da sie durch ihre komplexbildenden Eigenschaften Enzyme inaktivieren und Proteine präzipitieren können und somit die Futtermittelqualität senken (MOÏSE *et al.* 2005). Ebenfalls komplexierende Wirkung zeigen Phytinsäure und deren Derivate, die zweiwertige Metallionen und Aminosäuren sowie größere Mengen Phosphor binden können (THIES 1994, LÜHS *et al.* 2000). Der Bitterstoff Sinapin, Hauptbestandteil der Sinapinsäureester, hemmt die Futteraufnahme und ist Ursache für den fischigen Geruch von Hühnereiern, wenn braune Legehennen, die Sinapin bzw. Trimethylamin nicht abbauen können, mit Rapsschrot gefüttert werden (THIES 1994). Dieses Problem konnte Ende 2007 seitens der Hühnerzüchtung gelöst werden und die neu gezüchteten Braunleger (ohne Enzymmutation) werden nun weltweit eingeführt.

Neben den negativen Wirkungen auf die Verdaulichkeit haben phenolische Verbindungen auch eine Vielzahl positiver Eigenschaften und zeichnen sich durch ein sehr großes Funktionsspektrum in der Pflanze aus: Sie sind für die Farbe von Samen, Blüten, Blättern und Früchten verantwortlich, beeinflussen die Keimung, vermitteln Krankheitsresistenz und schützen vor UV-B-Strahlung. Außerdem spielen sie bspw. eine Rolle in der Kommunikation zwischen Pflanze und Mikroorganismen, der Regulation des

Auxin-Transports und der Ausprägung männlicher Fertilität in einigen Pflanzenarten (WINKEL-SHIRLEY 2001).

Auch in der Ernährung von Mensch und Tier können Polyphenole positive Effekte haben. So wird eine möglicherweise präventive Wirkung auf bestimmte Krankheiten, wie Arteriosklerose und Krebs, durch antioxidative und antimutagene Eigenschaften der Polyphenole beschrieben (MOÏSE *et al.* 2005). Proanthocyanidinkonzentrationen von 2 bis 4% im Futter können bei Schafen dem Auftreten von inneren Parasiten entgegenwirken und bei Rindern ein Aufblähen des Pansens nach zu proteinreicher Kost verhindern (AERTS 1999).

Zur weiteren Stärkung der Konkurrenzfähigkeit des Rapsschrotes auf dem europäischen Markt sehen es LÜHS *et al.* (2000) als vorrangiges Ziel der Züchtung an, das genetische Ertragspotenzial des Rapses bei gleichzeitiger Reduktion des pflanzenbaulichen Inputs noch besser auszuschöpfen und durch eine Erhöhung des Ölgehaltes die Marktleistung zu steigern. Dazu gehört es auch, durch die Steigerung des Proteingehaltes und eine Verringerung von Rohfasergehalten sowie Gehalten an Glucosinolaten, Tanninen, Phytat und Sinapin die Rapsmehlqualität als Koppelprodukt der Ölgewinnung anzuheben. Hier spielt die Züchtung gelbsamiger Rapssorten eine besondere Rolle, wobei aber eine hinreichende Samenvitalität (Keimfähigkeit, Triebkraft, Gesundheit etc.) sicherzustellen ist.

Das wesentliche Ziel dieser Arbeit bestand darin, anhand einer doppelhaploiden (DH) Population, welche eine breite Variation für das Merkmal Samenfarbe bzw. Schrotqualität aufweist, genetische und chemische Untersuchungen der antinutritiven phenolischen Verbindungen im Rapssamen (hauptsächlich kondensierte Tannine) durchzuführen. Mit Hilfe dieser Analysen sollte der Zusammenhang zwischen Samenfarbe und Tanningehalt bei Raps im Hinblick auf eine verbesserte Schrotqualität untersucht werden. Die Untersuchungen des Tanningehalts erfolgten sowohl anhand qualitativer als auch quantitativer Methoden (Vanillin- bzw. HPLC-Assay). Die ermittelten Inhaltsstoffdaten sollten genutzt werden, um quantitative Merkmalsloci (*Quantitative trait loci*, QTL) für die jeweiligen Merkmale zu ermitteln. Dafür werden Kandidatenloci für die Zielmerkmale genetisch kartiert und mit den Positionen der entsprechenden QTL verglichen. Das entscheidende Ziel des Projektes, im Rahmen dessen diese Arbeit durchgeführt wurde, ist die Entwicklung von wirkungsvollen molekularen Markern für eine zeit- und arbeitssparende Selektion auf vorteilhafte Allele in der Rapszüchtung.